UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER III

Département de Géographie

Ecole Doctorale 60 « *Territoires, Temps, Sociétés et Développement*»

DOSSIER POUR OBTENIR LE DIPLÔME

D'HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

de Didier BAZILE

sur le thème :

Des plantes et des hommes : regards croisés sur la biodiversité

Sous la direction du Professeur **Geneviève CORTES**

Professeur des Universités, Montpellier 3

Tome 3 :
SYNTHESE

Un cheminement au sein des agroécosystemes

de l'Afrique de l'Ouest aux Andes

Sommaire

1 L'ETUDE DE LA BIODIVERSITE EN GEOGRAPHIE : UN POSITIONNEMENT SUR DES ENJEUX SOCIETAUX 15

1.1 Rencontres répétées entre la biodiversité et la géographie : le rapport sans cesse renouvelé de l'Homme à la Nature 15

1.2 Pourquoi traiter de la biodiversité dans le champ de la géographie : une évidence ? 19

1.2.1 Un renouveau dans la discipline géographie : la biodiversité comme entrée 20

1.2.2 La biodiversité dans les courants actuels de la géographie 22

2 LES SYSTEMES SEMENCIERS : UNE ENTREE INTERDISCIPLINAIRE POUR ECHANGER ET CONSTRUIRE A PARTIR DE LA CONCEPTUALISATION SUR UN SYSTEME COMPLEXE 37

2.1 Les clôtures disciplinaires, obstacles ou catalyseurs pour la construction des connaissances 38

2.2 Historique d'une formalisation des systèmes semenciers 40

2.2.1 Problématique et Contexte général des recherches 40

2.2.2 Méthodes 44

2.2.3 Développement continu des outils 60

2.2.4 Avancer en généricité avec IMAS 75

2.3 Le modèle: objet frontière et langage passerelle 79

2.3.1 Le modèle, une construction permanente 79

2.3.2 Le modèle, pour quoi faire 89

2.3.3 Apprentissages: de la pratique individuelle à l'action collective 94

3 PROPOSITION D'INTEGRATION DES RECHERCHES FUTURES AUTOUR DU QUINOA 103

3.1 Les apports de l'agroécologie 104

3.1.1 La prise en compte de l'agrobiodiversité dans les innovations agroécologiques 108

3.1.2 L'objet agrobiodiversité au centre des systèmes agraires, des systèmes semenciers et des systèmes alimentaires 112

3.2 Le quinoa sort des Andes : enjeux et controverses 117

3.2.1 Problématique générale et questions de recherche 117

3.2.2 Le quinoa, un modèle pour étudier les dynamiques de la biodiversité en agriculture 138

3.2.3 Le quinoa, une plante tolérante aux stress pour s'adapter aux changements globaux en agriculture 143

3.2.4 Le quinoa, une plante riche pour améliorer la sécurité nutritionnelle 147

3.2.5 Le quinoa, une source potentielle de revenus pour soutenir l'agriculture familiale et contribuer à éradiquer la pauvreté 150

INTRODUCTION

L'intérêt que les chercheurs portent à l'amélioration des connaissances sur le vivant, y compris dans l'analyse de sa diversité, ne constitue pas une préoccupation nouvelle. Les récits de la Grèce antique ou les comptes rendus de voyage des grands explorateurs montrent que les traités qui listent et décrivent les êtres vivants d'une région sont très anciens. Cette science du vivant qui pour l'essentiel consistait au départ à connaître et inventorier les ressources n'est pas non plus uniquement le fait des sociétés occidentales. L'histoire de la géographie, et des géographes, montre que cette discipline a toujours participé à la caractérisation et à la cartographie de cette Nature, dont les ressources étaient à ces époques considérées comme illimitées. L'appropriation du concept de biodiversité par les sciences humaines et sociales aujourd'hui modifie cette perception de la diversité du vivant pour considérer sa finitude. La connaissance de cette biodiversité et l'accès aux ressources qu'elle représente, diffèrent selon les groupes humains. De nouveaux enjeux émergent donc autour de la caractérisation, de la conservation, de l'utilisation et de la valorisation de la biodiversité. Chaque groupe humain n'ayant pas le même accès à la connaissance ou à l'exploitation de la diversité biologique, certaines activités ayant un impact négatif sur la dynamique de celle-ci, la biodiversité est devenu un enjeu de société. Le fait que certains groupes n'aient pas accès à l'information de son existence, de ses caractéristiques ou n'ont pas les moyens financiers, techniques et humains pour son utilisation, fait qu'une économie de la biodiversité a émergée. La valeur donnée à la biodiversité aujourd'hui signifie son importance pour la communauté mondiale sans pour autant résoudre ses problèmes d'accès et de conservation pour préserver certains équilibres de la planète et les services écosystémiques rendus par celle-ci. C'est à cette conclusion que la première partie de ce troisième volume d'Habilitation à diriger des recherches nous conduit. Il ne s'agit pas pour le géographe de simplement caractériser la diversité biologique mais de comprendre en quoi le rapport à la biodiversité des différents groupes humains génère des enjeux nouveaux à considérer par la recherche. Les problèmes de mondialisation en termes de production et de circulation des produits, d'identités territoriales locales avec la présence de certaines espèces autochtones endémiques, l'existence de hauts lieux de biodiversité (ou *hot spot*), les discours portés par les communautés locales et les ONG de défense de l'environnement renvoient à une analyse dont les éléments rejoignent bien ceux d'une analyse par les géographes. Cette nouvelle représentation de la biodiversité tend à s'éloigner progressivement de la seule conception écologique pour aborder les questions économiques notamment celles sur la propriété du vivant. Chacun des différents courants de la géographie, économique, écologique, politique ou culturelle, porte un regard particulier sur les enjeux liés à la biodiversité. La première partie de cette synthèse tente de présenter cette diversité des points de vue au sein même de la géographie.

Cette réflexion sur la réglementation et les régulations sur l'accès aux ressources, génétiques en particulier, sont vraiment mises en exergue avec le cas particulier de la biodiversité agricole ou agrobiodiversité. En effet, la question de l'accès aux semences est essentielle pour un agriculteur sans quoi il n'y a pas de production agricole. L'accès à une large diversité variétale lui donnera l'opportunité de réaliser des choix selon les conditions

climatiques ou pédologiques, ses contraintes techniques, ses préférences personnelles ou encore pour répondre à une demande particulière du marché. Toutefois, contrairement à la biodiversité dite sauvage, la biodiversité cultivée n'existe qu'au travers des activités humaines. Ce sont les premiers agriculteurs qui ont domestiqué certaines espèces aux abords de leurs campements. La collecte des semences pour reproduire les plantes à la génération suivante a permis de sélectionner certains traits de caractères selon les environnements géographiques, sociaux ou culturels. La multiplicité des conditions et des orientations de la sélection variétale par une diversité de groupes humains est à la base de la diversité des plantes cultivées. Pourtant, le fait que ce soit l'Homme qui ait créé cette diversité, place celle-ci aujourd'hui sous sa dépendance pour sa reproduction et son maintien (Bazile[1] *et al*, 2013). En effet, l'agrobiodiversité nécessite une action humaine active et continue pour maintenir la diversité cultivée existante. La seconde partie de ce volume présente les résultats d'une méthode pluridisciplinaire pour analyser la dynamique de la biodiversité en agriculture. Une analyse des travaux conduits sur une période de près de 15 ans sur les systèmes semenciers souligne l'importance d'une approche pluridisciplinaire pour aborder le système semencier en tant que système complexe. La méthodologie utilisée est participative à la fois pour reconnaitre la diversité des points de vue sur le système et pour favoriser le dialogue entre des acteurs aux points de vue différenciés. Les outils mobilisés, jeux de rôles (JdR) et systèmes multi-agents (SMA), renforcent la démarche d'accompagnement mise en avant dans cette recherche afin de favoriser l'émergence et la discussion de nouvelles règles de gestion avec tous les acteurs du système.

L'étude des dynamiques de biodiversité en agriculture correspond à une volonté d'assurer son maintien et sa valorisation en considérant tous les acteurs selon les fonctions qu'ils assurent dans le système. La conservation *in situ* dans les champs des paysans montre qu'elle permet non seulement de préserver la diversité variétale (et génétique) mais surtout de maintenir sa capacité d'adaptation en lui permettant de co-évoluer avec les maladies et ravageurs présents dans son environnement, ou de s'adapter aux changements socio-économiques et culturels par une sélection adéquate des variétés chaque année de la part des agriculteurs. Disposer d'une diversité variétale pour de nombreux environnements marginaux des pays du Sud est un facteur de stabilité pour la production agricole. En effet, les variétés paysannes sont des variétés population hétérogènes qui leur permettent non pas de maximiser les rendements (comme c'est le cas pour les variétés améliorées dites à hauts rendements dès lors qu'elles bénéficient des intrants nécessaires pour que leur potentiel puisse s'exprimer) mais de diminuer le risque en produisant un rendement moyen sous de nombreuses situations climatiques. La biodiversité est alors un facteur de sécurité alimentaire pour les populations. Produire plus de nourriture pour une population qui ne cessera de croître au cours des prochaines décennies tout en combattant

[1] Bazile D., Fuentes F., Mujica A. 2013. Historical perspectives and domestication. In : Atul Bhargava, Shilpi Srivastava. *Quinoa: Botany, production and uses* . Wallingford : CABI, p. 16-35.

la pauvreté et la faim: voilà la grande priorité de l'agriculture mondiale (Griffon[2], 2006; Guillou et Matheron[3], 2011). Cette question n'est pourtant pas nouvelle. En effet, lorsque René Dumont lançait dès 1966[4] son « *Nous allons à la famine* », le diagnostic était déjà posé. Pourtant, les deux chocs pétroliers n'ont pas modifié la direction prise pendant les Trente Glorieuse en termes de développement agricole basé sur l'intensification avec valorisation du progrès génétique et soutien par les politiques publiques aux agricultures conventionnelles. Les recherches agronomiques actuelles tentent de mettre l'accent sur une meilleure efficience dans l'usage des ressources (eau, sol, biodiversité, etc.) afin de produire plus mais mieux. Parmi les différents courants alternatifs à l'agriculture conventionnelle, l'agroécologie a réellement été portée sur le devant de la scène internationale en 2010 lors du discours « Agroécologie et droit à l'alimentation » d'Olivier de Schutter[5], rapporteur spécial de Nations Unies sur le droit à l'alimentation. L'appropriation par les politiques de ce concept rend bien compte du contexte de crises écologique, alimentaire et énergétique dans lesquelles nous nous trouvons. Il devient alors nécessaire de reconsidérer les modes de production agricole en s'appuyant sur les multiples expériences réussies d'agroécologie de par le monde afin d'analyser comment ces situations locales sont extrapolables à d'autres échelles. Le cas du quinoa est en ce sens très intéressant car il est porteur de nombreux enjeux liés au développement actuel de sa culture à l'échelle mondiale (Bazile, Bertero and Nieto[6], 2013). Les pays andins ont domestiqué cette espèce (*Chenopodium quinoa* Willd.) sur les bords du lac Titicaca à la frontière entre les actuels Pérou et Bolivie. Les échanges de semences lors des migrations humaines ont permis d'accroitre la diversité génétique pour aboutir à cinq grands écotypes au niveau mondial. Les conditions écologiques extrêmes de l'altiplano, principal centre de production de quinoa, ont conféré à cette plante des caractères de rusticité et d'adaptabilité. Les communautés agraires andines cultivent toujours aujourd'hui le quinoa selon des pratiques agroécologiques dites traditionnelles. Ces dernières font que le quinoa est reconnu par les consommateurs sur les marchés mondiaux comme un produit sain. L'expansion de son aire de culture sur tous les continents coïncide avec son introduction dans des modèles agricoles conventionnels. De nombreux enjeux porteurs de conflits apparaissent déjà dans et hors des zones andines: intensification, conflits fonciers, accès et appropriation des ressources génétiques, érosion de la biodiversité, intensification et standardisation, concurrence sur les marchés, etc. La reconnaissance de l'importance de la

[2] Michel Griffon, 2006. *Nourrir la planète. Pour une révolution doublement verte.* Ed. Odile Jacob, Paris, 456 p.

[3] Marion Guillou, Gérard Matheron, 2011. *9 milliards d'hommes à nourrir - Un défi pour demain*. Ed. Bourin, 432 p.

[4] René Dumont et Bernard Rosier, 1966. Nous allons à la famine, Paris, Le Seuil, 279 p.

[5] "Agroecology and the Right to Food", Report presented at the 16th Session of the United Nations Human Rights Council [A/HRC/16/49], 8 March 2011

[6] Bazile D. (ed.), Bertero H.D. (ed.), Nieto C. (ed.). 2013. Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. Libro de resúmenes. Santiago de Chile : FAO/CIRAD, 67 p.

biodiversité du quinoa et de la haute valeur nutritionnelle de ses grains lors de l'année internationale du quinoa en 2013[7] a permis aussi la reconnaissance des peuples andins dans le maintien de cette biodiversité du fait d'une agriculture « en harmonie avec la Nature ». Dans la dernière partie de cette synthèse du dossier d'Habilitation à diriger des Recherches, une analyse du concept d'agroécologie nous permet de montrer comment il est possible de le mobiliser pour aborder les enjeux d'un changement de paradigme pour le modèle agricole en considérant l'interaction des systèmes agraires, des systèmes semenciers et des systèmes alimentaires. Ensuite, un regard critique est porté sur les enjeux du développement mondial de la culture du quinoa en s'intéressant aux aspects d'ethnicité, de dynamique de la biodiversité, de choix d'amélioration variétale ou encore de génération de revenus aux producteurs *versus* compétition sur les marchés. L'ensemble des points de débat de cette troisième partie constitue la base de mon futur projet de recherche en géographie pour s'ouvrir aux questions géopolitiques sous-jacentes à la dynamique de la biodiversité.

[7] http://www.fao.org/quinoa-2013/fr/

Partie 1

ETUDE DE LA BIODIVERSITE EN GEOGRAPHIE : UN POSITIONNEMENT SUR DES ENJEUX SOCIETAUX

1 L'étude de la biodiversité en géographie : un positionnement sur des enjeux sociétaux

Afin de bien positionner mon objet de recherche, la biodiversité, dans la discipline géographique, il m'est apparu important de brosser une brève histoire de la géographie. Ce souci de positionnement pour une Habilitation à Diriger des Recherches permet de montrer comment, dans son examen permanent des rapports entre l'Homme et la Nature, la géographie a toujours cherché à décrire et à représenter la diversité des peuples dans leurs milieux.

Ancrée dans les sciences naturelles, la géographie a toujours cherché à expliquer les choix sociétaux en fonction des contraintes naturelles en particulier avec une approche des sols et des climats pour expliquer l'installation d'une population dans un lieu donné et l'exploitation des ressources naturelles. Cette proximité entre sciences naturelles et sciences géographiques justifie la facilité des géographes à s'approprier le concept de biodiversité, issu de la biologie et de l'écologie.

Les évolutions de la géographie durant le XX^{ème} siècle dépassent largement le cadre de la spatialisation des phénomènes avec leur représentation cartographique. La géographie évolue pour être aujourd'hui reconnue comme la science de l'espace des sociétés. Cette évolution ne doit pas être vue comme un changement brutal mais plus comme un glissement épistémologique du domaine des sciences naturelles vers celui des sciences sociales.

La géographie contemporaine développe ses références aux sciences humaines. La prise en compte des aspects territoriaux renouvelle la prise en compte des aspects spatiaux. Le souci constant d'analyser conjointement les dynamiques socio-spatiales dans leur dimension historique cadre bien avec une vision renouvelée de la géographie qui étudie les peuples dans leur rapport à la mondialisation. La réflexion conduite dans le travail actuel des géographes sur l'objet biodiversité se place donc sur des enjeux sociétaux où la dynamique de la biodiversité est perçue comme un problème par lesdites sociétés. Ce n'est donc pas tant de la diversité biologique que les géographes s'emparent en travaillant sur la biodiversité mais plutôt des différents enjeux qu'elles représentent pour les sociétés dans leur interaction avec la Nature.

1.1 Rencontres répétées entre la biodiversité et la géographie : le rapport sans cesse renouvelé de l'Homme à la Nature

La géographie en tant que science a longtemps fondé son existence sur l'étude des « rapports Homme/Nature », c'est pourquoi certains courants de la géographie ont même défini leur discipline comme la science de ces relations. Cette perception a fondé la

géographie des XVIIIe et XIXe siècles où elle s'appuyait sur deux champs principaux caractéristiques des questions soulevées par la société à cette époque :

– le rapport des différences dans l'espace des hommes avec les différences spatiales d'ordre naturelles ;
– l'appréciation des sociétés en fonction de leur « écart à la nature ».

De ce paradigme est né un axe majeur d'étude concrétisé par la délimitation des « régions naturelles » ce qui supposait le problème résolu. Partant de ce fait, les correspondances sont alors survalorisées pour justifier des modes de vie adaptés à des environnements particuliers. Dans cette dérive, le minéral a pris le pas sur le vivant, car il était plus facile de délimiter les régions sur des bases topographiques et géologiques que biologiques et climatiques. La géographie du rapport de l'Homme à la Nature s'est donc elle-même écartée d'une géographie de la nature, réduite à la lithosphère.

La percée de l'écologie, avec la première définition donnée par Haeckel en 1866, a complètement modifié cette perception avec un retour en force du vivant mais cette fois en excluant l'Homme de la « science des écosystèmes ».

Le dernier retournement majeur de la géographie correspond à celui qui s'est consolidé à la fin du XXe siècle avec un regard porté sur l'objet d'étude à partir des organisations spatiales mises en place par les groupes humains. La géographie se propose désormais d'étudier les organisations sociales et le géographe examine leurs conditions de production et de reproduction dans l'espace.

La géographie actuelle est donc arrivée à une science ***avec*** la nature et non plus ***contre*** la nature (à l'inverse du XIX^{e} siècle) ou encore ***sans*** la nature (dans les excès des géomorphologistes du XXe siècle).

Cette brève introduction montre que la géographie est bien une science sociale qui analyse les sociétés et leurs modes d'organisation dans l'espace. Un tel objet d'étude n'est jamais statique, c'est pourquoi la géographie a toujours évolué en parallèle des sociétés et des questions philosophiques soulevées par lesdites sociétés. La géographie n'est donc pas une discipline figée, et il ne peut y avoir une seule mais des géographies qui évoluent en parallèle dans le temps.

- **Qu'est-ce que la géographie ?**

Si l'on cherche à définir ce qu'est la géographie aujourd'hui, on doit d'abord pouvoir se référer à une définition classique relevant avant tout de l'enseignement de cette discipline: c'est l'étude de la surface de la terre. Celle-ci est l'interface de l'atmosphère, de la lithosphère, de l'hydrosphère et de la biosphère. Elle fournit l'habitat, ou l'environnement, dans lequel les humains peuvent vivre. Cette zone habitable a un certain nombre de caractéristiques spéciales que la géographie se propose d'étudier.

Pour préciser les contours de leurs géographies, les chercheurs géographes ont toujours proposé des dictionnaires afin de spécifier l'utilisation de certains termes dans leur discipline ce qui conduit inévitablement à redéfinir la géographie elle-même. Parmi les plus récents dans ce domaine, le dictionnaire critique des mots de la géographie de Brunet, R., Ferras, R. et Théry, H. (1993)8 participe à ce renouveau de la géographie qui est définie comme: « une des sciences des phénomènes de la société ». Elle a pour objet la connaissance de cette œuvre humaine qu'est la production et l'organisation de l'espace. La géographie est une intelligence de l'espace.

Les années 90' marquent l'émergence d'une géographie contemporaine francophone et le *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés* (Lévi et Lussault, 2003) ne dément pas cette avancée épistémologique puisque Jacques Lévi (2003)[9] définit la géographie comme étant la : « *science qui a pour objet l'espace des sociétés, la dimension spatiale du social* ». L'objet de cette science est l'espace des sociétés (ou « espace géographique »).

- Quelles géographies dans les temps?

Derrière le cadre de travail des géographes, on peut ici rapidement présenter trois réalités du passé qui ont une résonance forte dans ce qu'est la géographie aujourd'hui :

La paléogéographie

Les êtres humains sont en soi curieux. Ils se demandent comment d'autres terres et peuples diffèrent de leurs propres modes de vies. Les premiers individus à enregistrer la connaissance sur de telles différences sont venus principalement des premiers grands voyageurs avec des comptes rendus d'observations. C'est pourquoi la paléogéographie est née avec les civilisations méditerranéennes (Grèce et monde arabe surtout) et a existé de l'Antiquité à la Renaissance européenne. C'est un regard sur la Terre et le Monde. C'est un regard à la fois empirique et théorique, rationnel, éthique et esthétique sur l'ici et l'ailleurs.

Au 5e siècle BC, l'auteur grec Hérodote (c.484-425BC) est l'exemple exceptionnellement précoce d'un individu qui a soigneusement enregistré toutes les observations personnelles faites pendant sa vie. Grec né en Asie Mineure, il est surnommé le père de l'histoire et de la géographie. Il entreprit, pour expliquer les guerres médiques, une vaste enquête sur les relations entre les Grecs et les Perses. A cette fin, il visita les différents pays du bassin méditerranéen, d'où il rapporta un grand nombre d'informations historiques et d'observations ayant trait aux us et coutumes de ces peuples visités.

[8] Brunet, R., Ferras, R. and Théry, H., 1993. Les mots de la géographie, dictionnaire critique (3ème édition revue et augmentée). Collection Dynamiques du territoire. GIP-Reclus et La documentation Française, Montpellier et Paris (F), 520 pp.

[9] Lévy, J. and Lussault, M., 2003. Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés. Belin, Paris (F), 1032 pp. **et** Jacques Lévy et Michel Lussault, *"'Le Dictionnaire, mode d'emploi'.", EspacesTemps.net, Il paraît, 18.03.2003 ;* <http://www.espacestemps.net/document112.html>

L'archéogéographie

Contrairement à la paléogéographie qui consistait à décrire le Monde lors de déplacements, il s'agit cette fois d'une exploration programmée et organisée avec une description systématique de la Terre. Elle connaît ses prémisses chez les grecs, une présence significative dans la Chine impériale et surtout une montée en puissance dans l'Europe du 16e au 19e siècle. Cela contribue à la naissance des sociétés de Géographie (France, Angleterre, etc.). C'est à cette époque que se dessinent les bases de la géographie moderne, avec son emphase sur l'observation directe de terrain et les mesures précises comme base pour des généralisations. Trois innovations institutionnelles au 19e siècle ont également joué des rôles importants dans le développement et la modernisation de la discipline en Europe: un nouveau type d'université, l'apparition des sociétés géographiques et, l'organisation systématique des descriptions des colonies par les administrateurs.

Alexander von Humboldt (1769-1859) est un célèbre Naturaliste et explorateur allemand. Précurseur de l'écologie, il s'intéressa à l'océanographie et de la climatologie. Il parcourt l'Amérique du Sud, le Mexique et Cuba, etc. Il y réunit d'innombrables observations géographiques, astronomiques et climatiques, ainsi que des descriptions des populations, de la faune et de la flore. Humboldt effectua notamment des mesures dans le courant marin qui porte désormais son nom, le courant de Humboldt. De retour en Europe, il publie en trente-six volumes, le récit de ses explorations: Voyage aux régions équinoxiales du Nouveau Continent, fait de 1799 à 1804.

La protéogéographie

Elle se définit comme un ensemble de discours combinant une étude des différents « genres de vie » selon les lieux. Cela devient une idéologie nationale et une discipline scolaire que l'on qualifie de « géographie traditionnelle » ou « géographie classique ». Elle est présente surtout en Europe, et particulièrement en France dans la seconde moitié du 19e et le début du 20e siècle.

À la fin du 19e siècle, la géographie est devenue un sujet de recherche original et de l'enseignement principalement dans les universités de l'Allemagne, de la France, et des pays continentaux voisins et, à un moindre degré, dans les universités principales de la Grande-Bretagne. La fleuraison de la géographie dans ces pays, couplée à l'excitation des découvertes de l'ouest américain, a eu un impact fort sur le développement de la discipline et surtout la création d'un courant nord-américain.

Cette histoire de la géographie explique pourquoi depuis les années 60', la géographie s'est progressivement transformée sous l'impulsion de la Grande Bretagne, des Etats-Unis (mais aussi de la Suède) pour devenir une science sociale parmi les autres avec comme objet principal l'espace comme dimension de toute vie sociale. On est ainsi parvenu à définir « *l'espace géographique* » qui va s'opposer à d'autres espaces : physique, biologique, mathématique, etc. C'est pourquoi, contrairement à « spatial », « l'espace géographique » fournit une image globale de l'objet de la géographie. La maturité de cette géographie

contemporaine s'exprime dans les nouvelles publications des géographes. La revue *l'Espace géographique* fondée en 1972 porte ce courant.

La recherche moderne en géographie

La géographie intègre à son étude de l'espace les caractéristiques générales de la complexité spécifiques du social : l'historicité, la « *sociétalité* » (la société n'est pas la simple somme de ses éléments), la pragmatique (existence d'actions et d'acteurs), le rôle des langages et des représentations comme composantes majeures du réel social. Lévi (2003) revisite alors les concepts couramment admis dans la paléo-, l'archéo- et la proto-géographie et il demande à bannir les acceptations suivantes :

– « encyclopédique » : géographie = nomenclature des noms de lieux ;

– « naturaliste » : géographie = ensemble des conditions naturelles ;

– « écologique » : géographie = relations « Homme/milieu »

La vision prônée par Lévi reste assez exclusive, et parfois dogmatique, c'est pourquoi il n'a pas réussi à fédérer l'ensemble du corpus des géographes derrière son dictionnaire de la géographie. L'ensemble des critiques portées à son travail montre que la géographie est bien vivante et polymorphe. Il n'en reste pas moins que dans la réflexion qui entoure cet ouvrage, un certain nombre de points émerge. Ils constituent certains des enjeux présents de la géographie moderne:

–une intégration des apports des autres sciences sociales et de la philosophie dans les domaines encore peu explorés par les géographes (rôle de l'espace dans les sciences du psychisme, géohistoire, etc.) ;

–un renforcement d'une géographie analytique qui renonce à l'affirmation cartésienne d'un espace absolu géométrique et prend en considération l'importance de l'échelle et la diversité des métriques ;

–un renouvellement théorique de la carte comme point d'appui du langage pour la production et la diffusion de connaissances scientifiques sur l'espace ;

–une participation de la géographie à tous les débats théoriques des sciences sociales : social/sociétal, communauté/société, individuel/collectif, etc.

–une nouvelle réflexion sur la Nature conçue comme un rapport social au monde biophysique et qui, compte tenu de l'expérience de cohabitation dans l'*archéo* et la *proto* géographie, peut trouver une place innovante dans le dispositif des sciences sociales ;

Ce dernier point concerne précisément notre propos et nous allons maintenant l'explorer pour suivre le cheminement qui a amené les géographes à investir le champ de la biodiversité pour revisiter leur traditionnelle étude du rapport de l'Homme à la Nature.

1.2 Pourquoi traiter de la biodiversité dans le champ de la géographie : une évidence ?

Eu égard aux bases développées dans la géographie scolaire en France [et en Europe], le champ de la biodiversité apparaît comme un champ d'étude logique puisque nous avons vu que la géographie a toujours évolué parallèlement aux grandes questions et enjeux de sociétés. Une lecture rapide des champs de la géographie scolaire actuelle, [considérée

comme moderne] nous montre comment cet ancrage était évident pour considérer la biodiversité en tant qu'objet d'étude à partir de son avènement à Rio en 1992 (*Convention on Biological Diversity*, UNEP).

La géographie est divisée en champs systématiques et spécialisations régionales, qui peuvent être groupés sous trois titres principaux: géographie physique, géographie humaine et géographie régionale. Les principales activités de la géographie physique sont l'observation, la mesure et la description de la surface de la terre. La complexité croissante de l'enquête géographique a eu comme conséquence une spécialisation accrue au sein de ce champ. La géographie humaine explique la distribution et les caractéristiques selon les groupes de personnes. Cette distribution est sujette à la façon dont les gens satisfont à leurs besoins et définissent des modes de vie. Cela ouvre ce champ à la géographie économique, aux valeurs, outils et organisations culturelles et sociales, etc. Mais, pour bien comprendre les enjeux historiques, la géographie s'intéresse à des pas de temps différents selon les questions posées. Ainsi, étant donné l'histoire riche de l'Europe et les transformations successives du paysage[10], il n'est pas étonnant que l'intérêt pour la géographie historique ait déjà un long passif[11]. Les étapes dans la transformation du paysage normal (selon la perspective de la morphologie agraire) au paysage culturel (avec ses notions de patrimoine et d'identités) ont été étudiées dans plusieurs des pays d'Europe[12]. Contrairement aux champs systématiques de la géographie qui traitent de catégories particulières des phénomènes physiques, biologiques ou humains, réparties sur le globe, la géographie régionale est concernée par les associations dans des régions de tous ou de certains ces éléments, en particulier en vue de leurs corrélations car ils ont évolué historiquement ensemble.

1.2.1 Un renouveau dans la discipline géographie : la biodiversité comme entrée

Chacun des champs de la géographie, qu'elle soit physique, humaine ou régionale, peut apporter des éléments à la compréhension de la biodiversité et de ses dynamiques. Mais pour répondre aux enjeux sociétaux actuels, la recherche en géographie tend à prendre ses distances avec la discipline scolaire qui, par delà les champs traités, risque de s'enfermer dans un savoir encyclopédique hermétique éloigné des dynamiques sociétales.

C'est pourquoi la relation Homme-Milieu dans son acceptation écologique (y compris l'écologie du paysage) est bannie par Lévi (2003). Il considère que l'écologie a pris le dessus sur la démarche des géographes qui participent à de tels travaux, en cautionnant avec des outils de la géographie des phénomènes explicatifs des seules dynamiques écologiques. Cela n'empêche pas certains géographes, et fort heureusement, de poursuivre dans ce courant qui s'intéresse au sens large à la dynamique des paysages. C'est notamment le cas de Rougerie[13] (pour ne citer que lui) qui procède d'une approche très documentée de la

[10] Bertrand, C. et G., 1975. Pour une histoire écologique de la France rurale, in Duby, G.,Wallon, A., Histoire de la France rurale, Paris, Le Seuil, vol. 1, 35-116

[11] Bertrand, G. et C., 2002. Une Géographie traversière : l'environnement à travers territoires et temporalités, Paris, Arguments

[12] Barrué,M, Bertrand, G. (Eds), 1997. Les Temps de l'environnement, Journées du PIREVS, Toulouse, Presses universitaires du Mirail.

[13] Rougerie G. (2004). Géographie de la biosphère, A. Colin, Collection U, 287 p.

biogéographie. Après une présentation des grands types de végétation (herbacée, ligneuse frutescente et ligneuse arborescente), l'auteur aborde l'histoire de l'expansion de la vie[14]. Pour terminer, il analyse les systèmes organisés à des niveaux croissants: écosystème, géosystème et paysage[15].

Mais dans son ensemble, la géographie se concentre désormais sur la relation Espace/Société dans son acceptation sociale revisitée par Lussault (2003). Et toute la discipline, quelle que soit sa spécialité, est portée par ce courant social comme le démontre le renouveau des formations universitaires illustré par les quelques exemples qui suivent :

–Géographie Paris 7 Jussieu, Master Recherche : Spécialité : Tourisme**,** espace, société

– Géographie Paris1 Sorbonne, DEUG : Cours de géographie humaine : Société et acteurs de l'espace local

– Université Paul Cézanne (Aix-Marseille III) : UFR : Sciences géographiques et de l'aménagement (SGA), Master Recherche : Spécialité : Espace, société, ville.

–Université de Toulouse le Mirail, Département de Géographie Aménagement, Master de recherche : "Espaces, Sociétés Rurales et Logiques Economiques".

Ce ne sont pas les systèmes physiques et biologiques qui constituent un enjeu social majeur mais la nature. Cette dernière ne forme pas un composant autonome mais un construit de la société : elle est donc le résultat de la traduction et de l'incorporation sociétale des phénomènes physiques et biologiques. Selon Lussault (2003) « *La nature est l'ensemble des phénomènes, des connaissances, des discours et des pratiques résultant d'un processus sélectif d'incorporation des processus physiques et biologiques par la société* ». Pour cet auteur, les seules véritables sciences de la nature sont donc les sciences de la société.

Pourtant, nombre de faits biologiques et/ou physiques ne sont pas forcément socialisés en faits de nature (ex. la chimie des polymères, la biologie des procaryotes, etc.). Ainsi, le mode d'existence sociale et l'impact dans l'organisation et le fonctionnement de la société des phénomènes biophysiques n'empruntent donc pas nécessairement au « naturel ».

Ce constat va donner un sens particulier à la notion de *Biodiversité* qu'on peut décrire comme le rapport qu'une société entretient avec la diversité du vivant en tant qu'elle constitue un « *problème »* pour ladite société. La diversité biologique, quant à elle, définit la diversité des formes du vivant telle que le décrivent les sciences du système biologique. C'est pourquoi pour le géographe, *Biodiversité* et *Diversité Biologique* se recoupent mais ne se confondent pas : ce ne sont pas des ensembles qui fixent le même type de discours, de pratiques et d'enjeux.

[14] Rougerie G. (2000). L'Homme et son milieu. L'évolution du cadre de vie. Une approche de la géographie globale ou comment l'homme interagit avec l'écosystème. Paris: Nathan, 288 p.

[15] Rougerie G. (1991). Géosystèmes et paysages: Bilan et méthodes. A. Colin, Collection Géographie, 302 p.

1.2.2 La biodiversité dans les courants actuels de la géographie

Nous distinguerons schématiquement quatre courants principaux en géographie qui s'intéressent à la biodiversité avec une prise en compte croissante au fil du temps de la dimension sociale dans l'émergence de ces courants.

- **L'écologie, dans le contexte de la géographie**

L'intérêt de géographie pour l'étude des milieux naturels date de ses débuts mais aujourd'hui la géographie moderne s'appuie directement sur les concepts de l'écologie. Les apports nouveaux sont basés sur l'écologie de systèmes en utilisant les idées de spécialisation de place et d'exclusion concurrentielle (niche écologique). Les implications de la géographie dans la sphère écologique a surtout des implications dans la biologie de la conservation, la biogéographie, les modèles spatiaux de la biodiversité et du changement climatique, mais aussi et surtout dans l'appropriation du concept anglo-saxon d'écologie du paysage (*landscape ecology*) par les géographes. L'objet d'étude devient la variation spatiale des paysages à une variété d'échelles. L'analyse géographique inclut les causes et les conséquences biophysiques et sociales de l'hétérogénéité des paysages ce qui en fait une science largement interdisciplinaire. Son positionnement initial dans le champ de la biodiversité s'est fait au travers de l'étude de la fragmentation des paysages et d'une analyse du risque d'extinction des populations de certaines espèces. Aujourd'hui, l'évolution du lien entre géographie et écologie dépasse le cadre de l'espèce pour revenir au lien entre les concepts de paysage et d'écosystème. En France, les travaux sur les relations entre l'évolution des activités agricoles, les dynamiques des paysages et les fonctionnements écologiques[16] rentrent dans cette ligne de recherche en géographie où le lien avec l'agronomie est très fort. Les différents travaux conduits sur les paysages bocagers[17] visant à comprendre le rôle des diverses activités humaines sur les dynamiques écologiques[18] représentent une illustration des orientations possibles de ces recherches. Très liées au courant nord américain de la *Landscape ecology*[19] (Etats-Unis et Canada), les recherches ont d'abord porté sur le rôle des réseaux de haies sur la circulation des espèces dans le paysage et sur les facteurs d'évolution de l'utilisation des terres pour la structuration des paysages. Cela s'est immédiatement traduit dans l'analyse de la connectivité des paysages[20] dans les cas de déprise agricole[21] ou lors des opérations de remembrements des terres. Les avancées actuelles consistent à formaliser la dynamique des activités agricoles à divers pas de temps grâce à des variables de contrôle des

[16] Burel, F. and J. Baudry (1999). Ecologie du paysage : concepts, méthodes et applications. Paris, Lavoisier, 352 p.

[17] Baudry, J. and A. Jouin, Eds. (2003). De la haie aux bocages: organisation, fonctionnement et gestion. Paris, INRA Editions, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 435 p

[18] Burel, F. ; Baudry, J. ; Mander, U. (2003). Editorial. Biodiversity of European landscapes: threats and management. *Journal of Nature Conservation* 1 (3): 133-134.

[19] Burel, F. and J. Baudry (2003). Landscape ecology : concepts, methods, and applications. Enfield, N.H., Science Publishers, 378 p.

[20] Baudry, J., F. Burel, S. Aviron, M. Martin, A. Ouin, G. Pain and C. Thenail (2003) "Temporal variability of connectivity in agricultural landscapes: Do farming activities help ?" Landscape Ecology 18(3): 303-314.

[21] Burel, F. and J. Baudry. "Habitat quality and connectivity in agricultural landscapes : the role of land use systems at various scales in space and time". Ecological Indicators, Volume 5, Issue 4, November 2005, Pages 305-313.

processus écologiques. Il s'agit de comprendre les effets des structures paysagères et les facteurs déterminant ces dernières[22]. Dans ce cadre, le paysage en tant que mosaïque d'habitats est considéré comme un niveau d'organisation pertinent pour traiter des enjeux de la biodiversité et de la conservation des espèces.

Cette géographie écologique, tant décriée par Lévi, est pourtant celle qui reste encore aujourd'hui la plus riche en publications. L'approche développée s'inscrit dans la lignée des travaux de Rougerie (op. cit.) en partant de la dynamique des espèces[23, 24, 25, 26, 27] pour s'intéresser ensuite aux milieux[28, 29, 30, 31] [détruits par l'homme] puis à la définition des paysages[32]. La forêt, et sa dynamique[33], a longtemps été un objet central d'étude avec une analyse des massifs originels[34] mais aussi de leur fragmentation[35] par l'action humaine liée au changement d'affectation des sols, soit par l'urbanisation[36], soit par un front pionnier agricole.

Les études géographiques de suivis météorologiques[37] ont nécessairement appuyé cette analyse des milieux[38, 39]. Tout d'abord orienté vers une explication des conséquences de

[22] Poudevigne, I. and J. Baudry (2003) "The implication of past and present landscape patterns for biodiversity research: introduction and overview." *Landscape Ecology* 3(18): 223-225.

[23] P. J. Wood and S. Barker (2000). Old industrial mill ponds: a neglected ecological resource. *Applied Geography,* Volume 20, Issue 1, Pages 65-81.

[24] Fouad Msanda, Ahmed El Aboudi, Jean-Paul Peltier (2005). Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine. Cahiers Agricultures vol. 14, n° 4, juillet-août 2005 : 357-364.

[25] Amadou Tidiane Ba, Kandioura Noba (2001). Flore et biodiversité végétale au Sénégal. Sécheresse vol. 12, n° 3 : 149-155.

[26] Henri-Noël Le Houérou (1997). Biodiversité végétale et ressources génétiques en Afrique. Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 8, Numéro 2.

[27] Halima Kadi-Hanifi (2003). Diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie**.** Science et changements planétaires / Sécheresse, N°14, Vol. 3 : 169-179.

[28] Andrew Warren, Simon Batterbury & Henny Osbahr (2001). Sustainability and Sahelian soils: evidence from Niger. The Geographical Journal 167 (4): 324.

[29] Philippe Daget, André Gaston (1999). La mémoire des pâturages africain. Science et changements planétaires / Sécheresse, N°10, Vol. 3 : 171.

[30] A Chehma, MR Djebar, F Hadjaiji, L Rouabeh (2005). Étude floristique spatio-temporelle des parcours sahariens du Sud-Est algérien. Science et changements planétaires / Sécheresse, N°16, Vol. 4 : 275-285.

[31] Zineddine Benaouda, Zoheir Mehdadi, Ibrahim Bouchaour (2005). Influence pédoclimatique sur l'évolution des formations forestières en zone semi-aride (cas de la forêt de Tenira, Ouest algérien). Science et changements planétaires / Sécheresse, N°16, Vol. 2 : 115-120.

[32] Michael J Day and M Sean Chenoweth (2004). The karstlands of Trinidad and Tobago, their land use and conservation. The Geographical Journal 170 (3): 256.

[33] Sandrine LAMOTTE (2004). L'agencement des espaces amazoniens de l'échelle régionale à l'échelle de la maille forestière: une diversité millénaire en voie de disparition?. L'Espace géographique 3/04.

[34] W. Jepson (2005). A disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna. The Geographical Journal 171 (2): 99.

[35] J. L. Hill and P. J. Curran (2001). Species composition in fragmented forests: conservation implications of changing forest area. *Applied Geography,* Volume 21, Issue 2, Pages 157-174

[36] C.Y. Jim & H.T Liu (2001). Patterns and dynamics of urban forests in relation to land use and development history in Guangzhou City, China. The Geographical Journal 167 (4): 358.

[37] Mike Hulme and John Turnpenny (2004). Understanding and managing climate change: the UK experience. The Geographical Journal 170 (2) : 105.

[38] Michel Bruneau (2005). >From a centred to a decentred tropicality : francophone colonial and postcolonial geography in monsoon Asia. Singapore Journal of Tropical Geography, Volume 26, Page 304.

l'exploitation des milieux par l'homme[40], l'analyse climatique a ensuite beaucoup servi de caution à des politiques de conservation[41]. Aujourd'hui, les enjeux autour du changement climatique donnent encore une nouvelle dimension aux recherches en géographie écologique[42] avec souvent une finalité de développement très marquée, notamment en agriculture[43].

- ***L'apport de la géographie humaine à un renouveau de l'écologie***

La géographie qui côtoie l'écologie fait le constat que l'équilibre écologique est insuffisant pour traiter des "espèces économiques". Dès lors que les espèces deviennent des biens marchands, l'écologie devient inopérante pour répondre aux questions posées par les flux. Ce constat sera à l'origine du glissement épistémologique fondateur en géographie qui repose sur la considération que l'homme appartient à l'environnement. Elle s'oppose à l'*écologisme* qui avait comme postulat de base de rejeter toute action humaine qui modifie l'environnement. L'*espace géographique* donne alors un sens plus large à l'environnement qui comporte « *des éléments naturels et des éléments matériels, mais aussi des personnes, leurs activités, leurs relations, leurs cultures, leurs institutions* » (Brunet, 1993). Cela embrasse donc tout ce qui nous entoure et agit sur nous aux différentes échelles d'analyse.

L'objectif de la géographie est alors modifié avec la reconnaissance de la complexité environnementale : instabilité, déséquilibre, chaos, etc. La gestion des ressources qui en découle est totalement modifiée puisque c'est une gestion basée sur le changement, le risque et l'imprévisibilité qui va dominer au détriment de la notion de climax des écologues. C'est donc un réel renouveau de la perception de l'écologie en géographie avec une volonté pour la discipline d'être plus active dans les processus de recherche. Cela passe notamment par une comparaison des modifications de l'environnement liées à des changements d'usages par opposition aux changements naturels pour apprécier l'impact écologique de la gestion des ressources. Ce courant de la géographie s'oriente alors vers les théories de la conservation qui intègrent le développement économique. Cela correspond au rapprochement progressif des recherches sur les systèmes écologiques et sociaux qui traitent d'adaptabilité et de résilience des systèmes (Berkes and Folke, 1998)[44]. Après avoir commencé par étudier les dynamiques environnementales en les confrontant aux données

[39] Ouadia Tazi, Mohammed Loutfi, Felando Pablo Casanovas, Abdelilah Fahde (2004). Impact du climat sur le réseau hydrographique Nfefikh (Meseta atlantique du Maroc). Science et changements planétaires / Sécheresse, N°15, Vol. 4 : 361-365.

[40] Didier Spire (2000). Après une analyse... Cahiers Agricultures vol. 9, n° 1 : 4.

[41] A.P. Dykes (2000). Climatic patterns in a tropical rainforest in Brunei. The Geographical Journal 166 (1): 63.

[42] Lahcen Chillasse, Mohamed Dakki (2004). Potentialités et statuts de conservation des zones humides du Moyen-Atlas (Maroc), avec référence aux influences de la sécheresse. Science et changements planétaires / Sécheresse, N°15, Vol. 4 : 337-345.

[43] Seydou B. Traore, François-Noël Reyniers, Michel Vaksmann, Bather Kone, Amadou Sidibe, Abdouramane Yorote, Kalifa Yattara, Mamoutou Kouressy (2000). Adaptation à la sécheresse des écotypes locaux de sorghos du Mali. Science et changements planétaires / Sécheresse, N°11, Vol. 4 : 227-237.

[44] Berkes, F. and Folke, C. (Editors), 1998. Linking Ecological and Social Systems : Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience. Cambridge University Press, Cambridge (UK), 459 pp.

de démographie[45] afin de trouver des facteurs explicatifs aux changements[46], cette géographie ne se limite pas à l'étude classique des populations mais, le suivi historique des mouvements de populations[47] avec les migrations et les phases de colonisation des milieux contribue à véritablement enrichir les débats[48, 49]. Cela détermine toute une série de travaux derrière le concept anglo-saxon très large de « *land use & land cover changes »*[50, 51]*.* Ce champ d'étude sur la dynamique d'occupation et d'usage des terres s'est fortement appuyé sur les outils modernes de la géographie[52] pour traiter du changement d'échelle. Tout comme l'accès facilité aux données satellitaires, l'essor des systèmes d'information n'est pas anodin au développement spectaculaire de ce courant issu de la géographie humaine pour aborder et traiter des enjeux liés à la biodiversité.

McKendry et Machlis (1993) [53] ont décrit un cadre général pour sortir l'analyse classique du « *gap* » de biodiversité en incluant des indicateurs socio-économiques tels que le changement de population, les tendances économiques, les politiques de gouvernement, et la conversion d'utilisation de la terre. Les auteurs proposent que cette application puisse être employée de façon transdisciplinaire pour la gestion des écosystèmes et/ou des paysages, lors des actions de planification pour la conservation de la biodiversité et ceci aussi bien pour la gestion d'espaces[54] que d'espèces[55]. L'exemple du changement agricole en Asie du Sud Est pendant les trois dernières décennies présenté par Hill (1998)[56] traite cette question de la biodiversité du point de vue de la durabilité des systèmes agricoles par une approche holistique, c'est pourquoi il s'intéresse au contexte du changement structurel des économies de la région. L'intérêt de cet article, qui situe le changement

[45] J. A. Veech (2003). Incorporating socioeconomic factors into the analysis of biodiversity hotspots. *Applied Geography,* Volume 23, Issue 1, Pages 73-88.

[46] A. S. Mather and C. L. Needle (2000). The relationships of population and forest trends. The Geographical Journal 166 (1): 2.

[47] Melica Ouennoughi, Daniel Dubost (2005). Le voyage forcé des dattiers en Nouvelle-Calédonie. Science et changements planétaires / Sécheresse, N°16, Vol. 4 : 275-285.

[48] David Henley (2002). Population, Economy and Environment in Island Southeast Asia: An Historical View with Special Reference to Northern Sulawesi. Singapore Journal of Tropical Geography, Vol; 23 : 167.

[49] David Henley (2005). Agrarian change and diversity in the light of Brookfield, Boserup and Malthus: Historical illustrations from Sulawesi, Indonesia *Asia Pacific Viewpoint,* Volume 46(2):153.

[50] Peter H. Verburg, Koen P. Overmars, Marco G.A. Huigen, Wouter T. de Groot and A. Veldkam (2006). Analysis of the effects of land use change on protected areas in the Philippines**.** *Applied Geography,* Volume 26, Issue 2, Pages 153-173.

[51] Tina Svan Hansen (2005). Spatio-temporal aspects of land use and land cover changes in the Niah catchment Sarawak, Malaysia. Singapore Journal of Tropical Geography, Vol. 26 : 170.

[52] D. Rhind (2000). Current shortcomings of global mapping and the creation of a new geographical framework for the world. The Geographical Journal 166 (4): 295.

[53] Jean E. McKendry & Gary E. Machlis (1993). The role of geography in extending biodiversity gap analaysis. *Applied Geography,* Volume 13, Issue 2,Pages 135-152.

[54] D. M. Theobald, D. Shrupp and L. E O'Brien (2003). A method to assess Risk of Habitat Loss to development: A Colorado Case Study. 2003, *Natural Resource Ecology Lab, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.*

[55] Sarah R. Jacobs, Kathryn A. Thomas and Charles A. Drost (1999). Mapping Land Cover and Animal Species; Distributions for Conservation Planning: An Overview of the Southwest Regional Gap Analysis Program in Arizona. *US Agriculture Department* (AZ).

[56] R.D. Hill (1998). Stasis and Change in Forty Years of Southeast Asian Agriculture. Singapore Journal of Tropical Geography, Vol. 19 : 1

structurel au niveau macroéconomique, est l'identification des processus de base conduisant aux changements d'agriculture (s). Il soulève là les questions importantes de la pauvreté et de la distribution sur le long terme des avantages de la perturbation des agroécosystèmes, objets d'étude d'une géographie économique.

- ***La géographie économique***

Le pas suivant dans l'analyse du social est la prise en compte de l'organisation économique dans la production et l'exploitation des ressources. La géographie économique est très ancienne comme nous l'avons vu en introduction. Elle peut se définir comme une étude des sciences économiques dans lesquelles l'endroit et le lieu importent (Géneau de Lamarlière et Staszak, 2000)[57]. L'orientation récente de certains géographes vers un retour au fait économique a pour origine l'hypothèse des géographes urbains sur le fait que la biodiversité est inversement proportionnelle au degré de développement [urbain]. L'analyse environnementale passe alors par l'acceptation d'une impossibilité des hommes à garder le contrôle des évolutions de l'environnement et à contenir les effets de leurs dispositifs techniques. Appliqué à la biodiversité cela permet de préciser les choix de conservation pour la planification territoriale en intégrant les critères d'efficacité/coût et de préférences sociales[58, 59]. Quelles sont les préférences pour les accords commerciaux aux différentes échelles? Comment analyser en géographie les retours au plan international des accords du libre-échange[60]? Dans ce cadre, l'analyse géographique rejoint le courant économique pour aborder les notions de terroirs pour les Appellations d'origine Contrôlées (AOC) et plus largement sur les Indicateurs Géographiques.

Les implications économiques sont fortes dans la redéfinition des objets et champs d'étude liés à l'étude de la biodiversité. Parmi les thèmes les plus importants qui concernent les géographes, nous pouvons citer:

– l'analyse du commerce repose sur son organisation spatiale avec les notions de convergence autour des marchés et une étude générale des flux de ressources ;

– la production est en permanence exprimée en rapport avec les besoins de la société et/ou à la demande sociale. L'orientation des choix de production résulte alors de calcul de coûts d'opportunité localisés ;

– l'analyse se conjugue aux différentes échelles du local au global ;

– la notion de ressources et la distinction entre les biens « Privé/Public » prend désormais tout son sens.

[57] Isabelle Géneau de Lamarlière et Jean-François Staszak (2000). Principes de géographie économique. Editions Bréal, coll. Grand Amphi, 448 pages.

[58] G Mikusinski and P Angelstam (1998). Economic geography, forest distribution, and woodpecker diversity in central Europe. *Conservation Biology*, Vol. 12 (1): 200-208.

[59] Krugman, Paul, 1991. "Increasing Returns and Economic Geography" Journal of Political Economy, University of Chicago Press, vol. 99(3), pages 483-99.

[60] Paul Krugman, 1996. "How the Economy Organizes Itself in Space: A Survey of the New Economic Geography" Working Papers 96-04-021, Santa Fe Institute.

Ces différentes orientations sont fortement liées à la construction du concept de développement durable[61] sur le social, l'économique et l'écologique. Il fait suite à l'*écodéveloppement* initié par Ignacy Sachs (1997)[62], puis développé par Maurice Strong (Canada) et Gro Harlem Brundtland (Norvège). Nous ne retracerons pas ici l'historique de l'appropriation du concept de « *sustainable development* », néanmoins il est important de s'attarder sur certains points qui participent à notre démonstration.

La géographie économique s'approprie donc le concept pour traiter de la vulnérabilité des populations en développant le rapport pauvreté/environnement[63] dans les modèles économiques. La notion de viabilité[64], de durabilité associée au concept de développement durable nous ramène irrémédiablement à la géographie régionale[65, 66] et aux opportunités[67, 68] et contraintes[69] de développement des différents secteurs de l'économie[70]. Cette orientation débouche sur la valeur[71] à donner à la biodiversité[72] et à sa conservation[73] notamment dans le cadre de la fourniture de services à la société[74, 75, 76].

[61] Griffon, M., 2003. Développement Durable. Ensemble? Les enquêtes de Marie-Odile Monchicourt. Platypus Press, Paris (F), 129 pp.

[62] SACHS, Ignacy (1997), L'écodéveloppement, Ed. La Découverte & Syros (Alternatives économiques), Paris. 122 pages.

[63] L. C Gray & W. G Moseley (2005). A geographical perspective on poverty–environment interactions. The Geographical Journal 171 (1): 9.

[64] Martha A Works and Keith S Hadley (2004). The cultural context of forest degradation in adjacent Purépechan communities, Michoacán, Mexico. The Geographical Journal 170 (1) : 22.

[65] Graham Haughton & Dave Counsell (2004). Regions and sustainable development: regional planning matters. The Geographical Journal 170 (2): 135.

[66] Gopal B. Thapa (1998). Issues in the Conservation and Management of Forests in Laos: The Case of Sangthong District. Singapore Journal of Tropical Geography, Volume 19.

[67] S. H. Eriksen, K. Brown & P. M. Kelly (2005). The dynamics of vulnerability: locating coping strategies in Kenya and Tanzania. Geographical Journal 171 (4): 287.

[68] Peggy Pascal, Sophie Tiers, Mireille Dosso (2004). Évolution des marges agricoles de la forêt protégée de Kakamega (Ouest kényan) : une dynamique sous surveillance. Cahiers Agriculture, Volume 13, Numéro 6, Novembre-Décembre 2004 : 473-479.

[69] Leslie C Gray (2005). What kind of intensification? Agricultural practice, soil fertility and socioeconomic differentiation in rural Burkina Faso. The Geographical Journal 171 (1): 70.

[70] Gail M. Hollander (2004). Agricultural trade liberalization, multifunctionality, and sugar in the south Florida landscape. *Geoforum,* Volume 35, Issue 3,Pages 299-312.

[71] Henri Feyt, Andrée Sontot (2000). Aspects juridiques de la valorisation des ressources génétiques végétales. Cahiers Agriculture, Volume 9, Numéro 5,: 403-416.

[72] Michel Trommetter (2000). Gérer la conservation des ressources génétiques végétales : valeur et valorisation des collections. Cahiers Agriculture, Volume 9, Numéro 5,: 381-89.

[73] Kathleen McAfee (2003). Neoliberalism on the molecular scale. Economic and genetic reductionism in biotechnology battles. *Geoforum,* Volume 34, Issue 2,Pages 203-219.

[74] Bertrand Hervieu (2002). La multifonctionnalité de l'agriculture : genèse et fondements d'une nouvelle approche conceptuelle de l'activité agricole. Cahiers Agriculture, Volume 11, Numéro 5,: 415-419.

[75] R Kerry Turner, Stavros Georgiou, Roy Brouwer, Ian J Bateman and I J Langford (2003). Towards an integrated environmental assessment for wetland and catchment management. The Geographical Journal 169 (2): 99.

[76] Jean Boyazoglu (2004). L'ingénieur agronome du xxi ème siècle : quel profil et pour quoi faire? Cahiers Agriculture, Volume 13, Numéro 5: 429-49.

- ***Une approche par les communautés de l'accès aux ressources***

La montée du concept de développement durable repose fortement sur l'analyse de « *La tragédie des biens communs* » (The Tragedy of Commons[77]) que le démographe William Foster Loyd avait présenté en 1833, dans un livre intitulé « *Two Lectures on the Checks to Population* ». Il partait de l'exemple suivant pour illustrer la tendance naturelle de l'homme à consommer entièrement les ressources communes :

Tous les bergers ont accès à une prairie commune. Vont-ils garder le nombre d'animaux troupeau stable? Vont-ils l'accroître? Une chose est certaine : ils veulent maximiser leurs gains. Chacun d'entre eux raisonne donc de la manière suivante : que se passera-t-il si j'ajoute un animal à mon troupeau? Cet accroissement a deux effets, l'un positif, l'autre négatif. Le résultat positif, prix de vente de l'animal, me reviendra entièrement, tandis que le résultat négatif, c'est-à-dire l'exploitation accrue du pâturage, pèsera sur tous les éleveurs. Chacun des individus en arrive à la conclusion que l'idéal serait d'ajouter un animal au troupeau, puis un deuxième, puis un troisième, etc.

Cette vision des choses conduit inévitablement à la ruine collective. Elle existe depuis toujours, mais la science et la technique l'ont généralisée à tous les types de consommation. Croissance économique et démographique sont forcément exponentielles jusqu'à un certain degré d'épuisement des ressources, dites limitantes puis, on observe une décélération : c'est la courbe dite « logistique » (ou en S, ou de pénétration des marchés, pour les économistes).

L'un des membres du Club de Rome, Maurice Lamontagne (économiste, homme politique canadien) a déclaré en 1974 : « *Comment des hommes sérieux peuvent-ils dire, à la fin d'un exercice financier, que la croissance du PNB a été de 7%, alors qu'ils n'ont aucune idée du coût des hypothèques humaines et écologiques de toutes sortes qui ont rendu ce taux possible ? Un pays comme le Kenya pourrait avoir le taux de croissance le plus élevé du monde. Il suffirait qu'il accepte d'envoyer ses buffles chez le boucher et ses girafes chez le tanneur, quitte à perdre dans l'avenir les revenus considérables qu'il tire du tourisme. N'est-ce pas là la vérité du PNB et l'histoire de toutes les croissances sauvages ?* »

Face à la surexploitation des ressources naturelles liée à la croissance économique et démographique, la croissance zéro est mise en avant comme la seule croissance capable de concilier évolution démographique exponentielle et quantité limitée de ressources naturelles. Le développement économique est alors présenté comme incompatible avec la protection de la planète à long terme. L'appel à une croissance zéro a été fortement critiqué car il apparaissait en totale contradiction avec l'idée de progrès défendue par l'ensemble de la classe politique de l'époque, et qui s'est maintenu jusqu'à aujourd'hui dans la politique. C'est donc dans un climat de confrontation et non de conciliation entre l'écologie et l'économie que se tient Conférence des Nations Unies sur l'environnement de 1972, à Stockholm, en Suède. Les thèmes centraux de la Conférence étaient :

– l'interdépendance entre les êtres humains et l'environnement naturel ;

– les liens entre le développement économique et social et la protection de l'environnement ;

[77] Garrett Hardin, 1968: "The Tragedy of the Commons," Science, 162:1243-48.

– la nécessité d'une vision mondiale et de principes communs.

Le concept d'écodéveloppement avancé par Ignacy Sachs repose sur la nécessité d'intégrer l'équité sociale et la prudence écologique dans les modèles de développement économique du Nord et du Sud. Il en découlera la création du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) ainsi que le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD). Mais le temps passe sans que les politiques prennent réellement position sur des engagements internationaux efficaces pour faire face à la dégradation de la planète. « *Borné dans sa nature, infini dans ses vœux »*, disait Lamartine en parlant de l'homme [politique]. Les avantages du progrès nous ont fait oublier la première partie de cet alexandrin, ses inconvénients nous la font redécouvrir. La conscience collective de la société civile sur l'urgence de mettre en place une solidarité planétaire pour faire face aux grands bouleversements des équilibres naturels émergera progressivement au cours des années 1980 lorsque le grand public découvre les pluies acides, le trou dans la couche d'ozone, l'effet de serre, la déforestation et la catastrophe de Tchernobyl, etc. Le trou dans la couche d'ozone est alors présenté comme un mythe fondateur grâce au mouvement social qui a permis la tenue de la conférence de Montréal en bannissant les CFCs (Les chlorofluorocarbures ou CFC sont une sous-classe de gaz fluorés appelés couramment gaz à effet de serre). A partir de là, les mouvements écologistes ouvrent d'autres débats dont la biodiversité, le principe de précaution, la gestion des risques, etc.

En 1983, l'ONU demande à Mme Gro Harlem BRUNDTLAND (ex-chef du gouvernement de Norvège) de présider une commission indépendante chargée d'enquêter sur la question de l'environnement global et du développement. Elle remettra en 1987 le rapport dit « rapport Brundtland » avec pour titre original « *Our common future* » (Notre avenir à tous)[78]. Celui-ci amorce une rupture fondatrice dans la conception des gouvernements sur les relations entre l'environnement et les politiques publiques. Il prône le concept de «*sustainable development*» et défini le développement durable comme « [...] *un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs*. » Autrement dit, le développement est essentiel pour satisfaire les besoins des humains et améliorer leur qualité de vie. En même temps, il doit se fonder sur une utilisation efficiente et soucieuse de l'environnement de toutes les ressources limitées de la société - naturelles, humaines et économiques.

C'est en juin 1992, au premier ''Sommet de la Terre'' à Rio de Janeiro ("*the Earth Summit*") organisé par les Nations Unies qu'est réellement consacré le terme de ''développement durable''. Il se veut être un processus de développement économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement soutenable. Il est respectueux des ressources naturelles et des écosystèmes, support de vie sur Terre, qui garantit l'efficacité économique, sans perdre de vue les finalités sociales du développement que sont la lutte contre la pauvreté, contre les inégalités, contre l'exclusion et la recherche de l'équité.

[78] Notre Avenir à Tous, rapport de la commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement (commission Brundtland), Les Editions du Fleuve, 1989, traduction française de "Our Common Future" paru en 1987. p51-77

La Commission Européenne en a proposé la définition suivante[79]: « c'est "une politique et une stratégie visant à assurer la continuité dans le temps du développement économique et social, dans le respect de l'environnement, et sans compromettre les ressources naturelles indispensables à l'activité humaine ». Cette définition globale s'appuie sur les orientations suivantes :

– le développement soutenable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ;

– une politique et une stratégie visant à assurer la continuité dans le temps du développement économique et social, dans le respect de l'environnement, et sans compromettre les ressources naturelles indispensables à l'activité humaine ;

– le concept de développement durable intègre à la fois des préoccupations de développement de l'ensemble des sociétés des diverses régions du monde, d'équité sociale, de protection de l'environnement local, régional et global, de protection du patrimoine planétaire et de solidarité vis-à-vis des générations futures ;

– le développement durable doit être compris comme un développement à la fois : supportable pour les écosystèmes dans lesquels nous vivons, donc économe en ressources naturelles et aussi "propre" que possible ; viable, autosuffisant à long terme, c'est-à-dire fondé sur des ressources renouvelables et autorisant une croissance économique riche en emplois, notamment là où les besoins essentiels ne sont pas couverts ; vivable pour les individus et les collectivités, donc orienté vers la cohésion sociale et l'accès pour tous à une haute qualité de vie.

Une première réponse apportée en géographie économique est de dire qu'il faut rééquilibrer les pouvoirs entre les priorités économiques et les impératifs sociaux et écologiques en intégrant des obligations de respect de l'environnement et des normes sociales dans le mécanisme des marchés financiers. En clair, il faut remettre l'Homme au cœur de l'économie en substituant aux spéculations boursières rapides des projets économiques viables et équitables à long terme. L'étape suivante consiste à considérer que l'Etat n'est pas le seul responsable du développement durable. Il nécessite une implication de tous les groupes socio-économiques. La réalisation effective des objectifs du développement durable, ne peut aboutir que si l'ensemble des acteurs de la société agit en commun : les entreprises privées, publiques, les associations, les ONG, les syndicats et les citoyens.

De l'économique au politique, le pas était facile à franchir. Les nombreux mouvements sociaux "Nature/Culture" ont porté ce courant naissant de l'écologie politique[80, 81, 82]. Il

[79] Commission des Communautés Européennes, Vers un développement soutenable, COM(92) 23 vol II, 30 mars 1992

[80] Karl S. Zimmerer et Thomas J. Bassett (Sous la direction de) (2003). Political Ecology: An Integrative Approach to Geography and Environment-Development Studies. Guilford Publications Editor, 310 pages.

[81] Richard A. Schroeder, Kevin St. Martin and Katharine E. Albert (Editors) (2006). Political Ecology in North America, Geoforum, Volume 37, Special Issue 2, Pages 155-306.

[82] Denis Gautier & Tor Arve Benjaminsen, Coord. (2012). Environnement, Discours et Pouvoir: l'approche de *Political Ecology*. Eds. QUAE, 256p.

donne une nouvelle lecture de la Convention sur la Diversité Biologique sur des aspects qui souffraient de reconnaissance lorsqu'on réduit la biodiversité au seul domaine des sciences biologiques. La géographie politique, même si elle s'est surtout intéressée aux communautés indigènes dans ses débuts, a su théoriser pour se construire des champs de recherche propres autour des savoirs traditionnels, des droits de propriété et de la gouvernance au sens large[83].

Du fait de son contexte historique et politique international, le développement durable est un pilier de la géographie politique qui cherche un compromis entre trois contradictions fondamentales :

– compromis entre les intérêts des générations actuelles et ceux des générations futures, dans le contexte de l'équité intergénérationnelle ;

– compromis Nord/Sud entre les pays industrialisés et les pays en développement ;

– compromis entre les besoins des êtres humains et la préservation des écosystèmes (les habitats et les espèces).

Le développement durable suppose que les décisions et comportements humains parviennent à ouvrir notre horizon temporel sur le long terme, celui des générations futures, et notre horizon spatial, en prenant en compte le bien-être de chacun, qu'il soit habitant d'un pays du Sud ou du Nord, d'une région proche, de la ville ou du quartier voisins. Le développement durable se fonde alors sur la recherche d'intégration et de mise en cohérence des politiques sectorielles et impose un traitement conjoint des effets économiques, sociaux et environnementaux de toute politique ou action humaine. Une telle approche d'intégration impose des démarches multi partenariales et interdisciplinaires. Son succès repose sur le partenariat et la coopération entre acteurs de disciplines différentes (économie, sociologie, écologie, etc.), de secteurs différents (transport, eau, déchets, milieu naturel, développement social, etc.), de milieux différents (entreprise, associatif, institutionnel, administratif, commercial, syndical, etc.), agissant à des échelons territoriaux différents, du niveau international au niveau local.

Il existe une multitude d'accords sur les grandes lignes du concept du développement soutenable pour les pays en voie de développement[84]. Tous réclament un modèle de développement capable de satisfaire aux besoins de base des populations sans épuiser les ressources naturelles à un taux qui handicaperait leur utilisation pour les générations futures. À cet égard, la participation du citoyen est considérée la clef qui légitime les choix des politiques. Puisque les économies de marché règnent presque partout, la question qui est posée est comment l'approche de développement peut-elle être incluse comme complément significatif aux initiatives de *market-friendly* (axées sur le marché) et comment l'examen des acteurs, des intérêts et des ressources de puissances en jeu

[83] G. Tuathail, Gearoid O. Tuathail et Simon Dalby (Sous la direction de) (2006). The Geopolitics Reader (2nd edition). Routledge Éditor (UK): (mai 2006) 352 pages.

[84] Eduardo Silva (2004). The political economy of forest policy in Mexico and Chile. Singapore Journal of Tropical Geography, Volume 25 :261.

peuvent faire émerger des solutions alternatives à la gestion communautaire traditionnelle non centrée sur les échanges marchands.

Le développement durable repose en fait sur une nouvelle forme de gouvernance, où la mobilisation et la participation de tous les acteurs de la société civile aux processus de décision prennent le pas sur le simple échange d'informations. Il entend promouvoir la démocratie participative et renouveler l'approche citoyenne. L'accès à l'information et à la transparence est un pré requis.

Les questions fondamentales qui suivent ouvrent la voie aux nouveaux enjeux qui doivent maintenant être traitées au niveau du politique :

– Comment concilier progrès économique et social sans mettre en péril l'équilibre naturel de la planète ?

– Comment répartir les richesses entre les pays riches et ceux moins développés ?

–Comment répondre aux besoins de millions d'hommes, de femmes et d'enfants encore démunies à l'heure où la planète semble déjà asphyxiée par le prélèvement effréné de ses ressources naturelles ?

– Comment faire en sorte de léguer une terre en bonne santé à nos enfants ?

Même si la portée reste toujours générale en politique, on note que les géographes de ce courant de pensée s'appuient sur des approches locales avec une prise en compte les savoirs traditionnels[85] des communautés locales. Pour respecter leurs points de vue et représentations à forte valeur culturelle, la conservation[86] s'est fortement appuyée sur les approches participatives[87]. Cette participation de plus en plus forte des communautés a contribué à la prise en compte de cette dimension locale dans la gestion des ressources avec toute la pensée liée à la décentralisation[88]: de fait, l'Etat[89] n'est plus seul décideur[90] de la gestion des espaces et des espèces qui constituent un support essentiel au développement de communautés locales[91]. En même temps que le local est mis en exergue[92], la notion de bien commun[93] sert aussi de liant aux recherches pour tous les

[85] T. C. Phuthego and R. Chanda (2004). Traditional ecological knowledge and community-based natural resource management: lessons from a Botswana wildlife management area. *Applied Geography*, 24 (1): 57-76.

[86] C. Twyman (2000). Participatory Conservation? Community-based Natural Resource Management in Botswana. The Geographical Journal 166 (4): 323.

[87] Roger Few (2001). Containment and counter-containment: planner/community relations in conservation planning. The Geographical Journal 167 (2): 111.

[88] Philip Hirsch (2001). Globalisation, Regionalisation and Local Voices: The Asian Development Bank and Rescaled Politics of Environment in the Mekong Region. Singapore Journal of Tropical Geography, Volume 22 : 237.

[89] Ulrich Brand and Christoph Görg (2003). The state and the regulation of biodiversity: International biopolitics and the case of Mexico. *Geoforum,* Volume 34, Issue 2, Pages 221-233.

[90] Katrina Brown (2002). Innovations for conservation and development .The Geographical Journal 168 (1): 6.

[91] W. J McConnell and S. P. Sweeney (2005). Challenges of forest governance in Madagascar. The Geographical Journal 171 (3): 223.

[92] Patrice Cayré (2005). Biodiversité, conservation et développement. Cahiers Agricultures vol. 14, n° 2, mars-avril 2005 : 197-198.

[93] Juha I. Uitto & Alfred M. Duda (2002). Management of transboundary water resources: lessons from international cooperation for conflict prevention. The Geographical Journal 168 (4): 365;

services rendus[94] par l'écosystème à la société[95]. Au-delà de la simple participation, c'est la capacité des « *chefs* » de la société civile à obtenir et déployer une nouvelle connaissance environnementale locale qui importe davantage[96] pour atteindre les objectifs d'efficacité. Une décentralisation aux issues environnementales locales pertinente est alors en mesure de proposer de nouvelles échelles géographiques de prise de décision qui affecteront les activités politiques futures et serviront de référence pour tout autre "*up scaling*" au delà des nouveaux territoires tout juste définis par la décentralisation politique.

Nous avons progressivement pu démontrer que le concept de biodiversité telle que décrit par les géographes s'éloigne de la simple diversité du vivant des biologistes. La dimension de l'Homme est essentielle pour comprendre sa représentation, sa complexité et sa dynamique. Un point important ressort de cette analyse, celui de la reconnaissance des communautés locales dans la gestion de la biodiversité. Les recherches conduites actuellement prennent bien en compte cette dimension. Une difficulté dans le futur sera de réussir à ne pas se limiter à l'échelle locale pour considérer les communautés mais de voir en quoi les décisions prises à ce niveau sont dépendantes de normes et de règles définies à des niveaux supérieurs et comment l'interdépendance des échelles doit aussi être intégrée aux questions de recherche sur l'objet biodiversité.

Nous allons maintenant dans le prochain chapitre nous restreindre à un champ particulier de la biodiversité qui est étroitement lié à l'Homme, celui de la relation entre biodiversité et agriculture à partir de l'analyse des regards croisés des géographes et des agronomes sur cet objet d'étude pris dans l'espace agricole.

[94] Goh Kim Chuan (2003). Hydrological Studies and Water Resource Concerns in Southeast Asia. Singapore Journal of Tropical Geography, Volume 24 : 86.

[95] Glen T. Hvenegaard & Philip Dearden (1998). Tourism in Southeast AsiaLinking Ecotourism and Biodiversity Conservation: A Case Study of Doi Inthanon National Park, Thailand. Singapore Journal of Tropical Geography. Volume 19 :193.

[96] Christian Brannstrom, James Clarke and Mariana Newport (2004). Civil society participation in the decentralisation of Brazil's water resources : assessing participation in three states. Singapore Journal of Tropical Geography, Volume 25 :304.

Partie 2:

VERS UNE CONCEPTUALISATION DES SYSTEMES SEMENCIERS

«C'est la représentation qui fait la réalité, et non l'inverse.»
[**Lars Saabye Christensen**] (Le demi-frère)

«*Si tu diffères de moi, mon frère, loin de me léser, tu m'enrichis.*»
[**Antoine de Saint-Exupéry**]

2 Les systèmes semenciers : une entrée interdisciplinaire pour échanger et construire à partir de la conceptualisation sur un système complexe

Depuis 2004, la modélisation des systèmes semenciers sert de fil conducteur à mes travaux de recherche sur la dynamique de la biodiversité agricole. Le cadre général de cette réflexion repose au départ sur l'étude des acteurs et leur représentation des ressources. Afin de rendre compte des dynamiques de la biodiversité agricole, les interactions entre acteurs et ressources servent de support pour faire dialoguer les différents acteurs du (des) système (s) semencier (s). L'accès aux semences, en tant qu'intrant essentiel à l'agriculture, conditionne la sécurité des systèmes de production agricole; c'est pourquoi la compréhension des systèmes semenciers (SS) représente un enjeu majeur pour la recherche agricole. Nous appelons système semencier le système dynamique constitué par l'ensemble des acteurs qui participent à l'approvisionnement des paysans en semences. Il inclut aussi bien la fourniture par des agences publiques (système formel), l'achat à des producteurs privés (système marchand) que la production et les échanges de semences à la ferme (système informel ou paysan). L'utilisation d'une méthodologie reposant sur des outils tels que les Jeux de rôles et les Systèmes Multi-Agents permet des allers-retours entre une réalité correspondant au terrain d'étude et sa représentation par chacun des acteurs et la conceptualisation que nous en construisons avec, au fil du temps, une montée en abstraction/généricité pour s'extraire d'un cas d'étude et mener une réflexion globale sur les systèmes semenciers.

Ce type de démarche s'appuie à la fois sur une approche systémique et de modélisation où les outils développés pour cette recherche considèrent les systèmes semenciers en tant que systèmes complexes doivent appuyer la transdisciplinarité nécessaire à la compréhension globale des systèmes étudiés. La recherche conduite sur les systèmes semenciers trouve son sens dans l'accompagnement des acteurs du système. En effet, la modélisation d'accompagnement est adaptée au dialogue et à la synergie entre acteurs locaux, chercheurs et utilisateurs finaux, contribuant ainsi au succès de la démarche participative pour explorer de nouvelles règles de gestion favorables au maintien et à la valorisation de la biodiversité agricole.

Dans ce chapitre, la question de la mise en relation, ou parfois en friction, des différentes disciplines nous sert de cadre introductif pour questionner un positionnement qui se veut résolument inter- et trans- disciplinaire. Ensuite, l'expérience de modélisation des systèmes semenciers est décrite de façon assez chronologique pour bien montrer que la modélisation est considérée ici comme un processus. Dans cette démarche d'accompagnement des acteurs dans leur réflexion de gestion de la biodiversité agricole, le modèle n'est pas une fin en soi mais un moyen. Il constitue un objet intermédiaire qui facilite le dialogue et l'explicitation des points de vue pour en débattre collectivement. Sur cette base, nous développons une section qui reprend de façon synthétique différents usages des modèles qui ont pu être mobilisés au cours de la démarche dans différents contextes. Enfin, la finalité d'un tel processus de modélisation

est l'accompagnement du changement. La démarche implique différents types d'acteurs à différentes échelles ou niveaux, individuels et collectifs, publics et privés, et c'est souvent du croisement des regards et des échanges d'expériences permises grâce aux supports utilisés (JdR et SMA) que peuvent émerger différents types d'apprentissages et nous en détaillerons certains à titre d'illustration.

2.1 Les clôtures disciplinaires, obstacles ou catalyseurs pour la construction des connaissances

D'une façon générale, l'enseignement est souvent cloisonné par une clôture disciplinaire imposée par et dans le système universitaire. La formation et la production des connaissances conduit alors souvent à la spécialisation qui est très souvent réaffirmée par les structures responsables de la recherche et de l'enseignement supérieur dans ses facultés et départements (Charbonneau[97], 2005).

Le modèle dominant du savoir demeure encore aujourd'hui la spécialisation, par et dans les disciplines universitaires. Il faut donc penser la science, qu'elle soit biologique ou sociale, dans ce cadre qui détermine la sanction ou la récompense qui conditionne la carrière de l'enseignant et/ou du chercheur lors de son évaluation par ses pairs. Même si aujourd'hui l'AERES[98] propose à des équipes et des collectifs de chercheurs de se faire évaluer en reconnaissant leur multidisciplinarité, la représentation individuelle des chercheurs au sein de ces collectifs demeure toujours disciplinaire et il est difficile de montrer la multidisciplinarité individuelle. Le chercheur doit se positionner dans une discipline unique au sein d'un des trois grands compartiments proposés: Sciences et Technologies (ST) ; Sciences du Vivant et de l'Environnement (SVE) ou Sciences Humaines et Sociales (SHS). Compte-tenu de mon parcours professionnel (cf. Tome 1), un affichage à cheval sur deux des trois compartiments s'avère indispensable pour comprendre mes activités qui se rattachent aussi bien à SVE2 (Agronomie, Ecologie, Environnement) qu'à SHS3 (Espace, Environnement, Sociétés) pour chercher à les relier.

Toutefois, les universités et les centres de recherche ne sont pas les seuls à promouvoir ce modèle de spécialisation et de simplification car les sollicitations de différents groupes d'intérêts exercent des pressions pour obtenir de la recherche des réponses immédiates d'experts afin de répondre et de donner dans l'urgence des solutions à leurs problèmes. La difficile pratique de la recherche interdisciplinaire[99] doit faire face à ces différentes contraintes. Mais faut-il aller contre cet ordre établi et si oui, pourquoi? La construction des connaissances repose pour beaucoup sur la représentation que nous nous en faisons. Nous sommes donc largement dépendants du lieu, de l'école de pensée, dans laquelle nous

[97] Simon Charbonneau « Réflexion d'un juriste sur l'enfermement disciplinaire », Natures Sciences Sociétés 1/2005 (Vol. 13), p. 58-61. URL : www.cairn.info/revue-natures-sciences-societes-2005-1-page-58.htm.

[98] AERES, Agence d'Evaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur

[99] Julie T. Klein, 2001. Interdisciplinarity: History, Theory, and Practice. Bloodaxe Books Publisher, 331 p.

développons notre cadre logique pour la création des savoirs. Selon Edgar Morin[100] (2005), le morcellement des connaissances est rassurant car il permet de séparer par un phénomène de disjonction les trois grands champs de la connaissance scientifique : la physique, la biologie et la science de l'homme. Pour sortir de ce cadre de pensée, nous devons donc tout d'abord prendre conscience de notre société intellectuelle afin qu'elle se développe, se multiplie et se nourrisse dans la pensée critique d'un groupe élargi.

La culture traditionnelle de la recherche est un des facteurs qui peut décourager la recherche multi-inter-trans-disciplinaire. Le premier obstacle viendra généralement de nos pairs dès lors qu'ils sentent qu'on tire un peu la corde pour déborder des frontières assignées à notre discipline. La question de l'évaluation se pose de facto pour ces recherches et peu de collègues acceptent d'évaluer de telles productions car cela implique une certaine humilité pour reconnaître qu'on puisse sortir du cadre disciplinaire établi sans se limiter à une méfiance ou une dévalorisation du travail d'autrui considérant qu'il ne contribue pas ou peu au rayonnement de la discipline.

Pour situer le rapprochement des disciplines et le franchissement des frontières, il est nécessaire de se référer au degré d'intensité des liens d'interaction entre les disciplines (Palmade[101], 1977). On peut alors identifier diverses formes de relations dans la multidisciplinarité pour différencier une juxtaposition de disciplines, hétérogènes dans le premier cas, voisines dans le second ; et analyser si elles sont mises à l'œuvre simultanément ou non à propos de l'étude d'un même problème.

Le concept de *multidisciplinarité* désigne une situation qui est de plus en plus fréquemment rencontrée dans la recherche où une gamme de disciplines est simultanément proposée sans que les relations qui existent entre elles soient explicitement mises en relief. Au contraire, le concept de *pluridisciplinarité* désigne également une situation de juxtaposition de disciplines mais qui sont groupées selon certaines affinités apparentes. Dans ces cas, il s'agit surtout d'un regroupement, qu'il soit intentionnel ou non, de modules disciplinaires plus ou moins rigides. Le rapprochement de l'agronomie et de la géographie autour d'un objet commun aux deux disciplines, comme ce fut le cas avec le système agraire, a permis de porter deux points de vue différents sur un même objet.

Parler d'interdisciplinarité[102] signifie dès le départ qu'il y a une intersection et une interdépendance qui pourra aller jusqu'à révéler un emboitement des disciplines. Derrière le terme *interdisciplinarité* réside une autre réalité. Le regroupement des disciplines et les interactions qui en découlent peuvent atteindre des degrés très variés, de la seule transmission des connaissances acquises jusqu'à l'intégration mutuelle des concepts et des

[100] Edgar Morin, 2005. Introduction à la pensée complexe. Ed. Seuil, 158 p.

[101] Palmade, Guy (1977). Interdisciplinarité et idéologies, Paris : Édition Anthropos.

[102] Frédéric Darbellay (2011). Vers une théorie de l'interdisciplinarité? Entre unité et diversité. Nouvelles perspectives en sciences sociales : revue internationale de systémique complexe et d'études relationnelles, Volume 7, numéro 1, octobre 2011, p. 65-87.

méthodes. L'étude de l'environnement a montré dès le départ la nécessité de relier diverses disciplines pour aborder la complexité des situations (Létourneau[103], 2008).

Enfin, la *transdisciplinarité* serait l'étape ultime de la juxtaposition à l'imbrication des disciplines car elle suppose la coordination de toutes les disciplines sur la base de la définition partagée d'une nouvelle formalisation de l'objet (ou du système considéré) (Pohl & Hirsh[104], 2008).

Pour conclure cette partie introductive, la multidisciplinarité et la pluridisciplinarité renvoient à une forme de juxtaposition de disciplines alors que l'interdisciplinarité et la transdisciplinarité reposent sur une collaboration plurielle des disciplines les unes avec les autres. Dans la partie suivante, nous verrons comment pour aborder la complexité nous avons dû à chaque étape de notre recherche prendre en compte, puis intégrer, de nouvelles disciplines de façon rendre compte globalement du système semencier sans trop le réduire par simplification, sans détruire l'ensemble pour isoler des parties du tout. Aborder cela dans notre champ thématique de la biodiversité agricole suppose à la fois de concevoir l'unité des sciences dans la discipline par elle-même et la différenciation des sciences entre disciplines à la fois par la nature de l'objet qu'elles traitent mais aussi par les associations, organisations et interactions qu'elles étudient.

2.2 Historique d'une formalisation des systèmes semenciers

2.2.1 Problématique et Contexte général des recherches

L'ensemble des recherches présentées ici reposent sur succession de travaux réalisés au sein du Cirad depuis 2001. Tous ces travaux portent sur un même terrain central pour mes recherches, le Mali, même s'ils ont donné lieu à des incursions au Burkina-Faso, puis au Niger et enfin à des comparaisons récentes avec le Chili pour avancer en généricité. Ils m'ont permis d'accumuler sur plus de dix années non seulement des données mais aussi une expérience pluridisciplinaire, en géoagronomie appliquée à l'étude de la biodiversité (Deffontaines J-P, 1998). Ce croisement de deux regards du géographe et de l'agronome a pu être mis à l'épreuve d'autres disciplines au fur et à mesure de l'avancée de mes recherches. Tous les travaux conduits s'inscrivent dans le champ de la biodiversité avec l'étude du concept particulier d'agrobiodiversité qui vise à mieux caractériser les rapports entre la diversité biologique, environnementale et socioculturelle pour l'analyse de la dynamique de la biodiversité en agriculture (Brookfield[105], 2001 ; Brookfield[106] *et al*., 2002).

[103]Alain Létourneau (2008) « La transdisciplinarité considérée en général et en sciences de l'environnement », VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 8 Numéro 2 | octobre 2008, mis en ligne le 08 janvier 2010, consulté le 05 décembre 2013. URL : http://vertigo.revues.org/5253 ; DOI : 10.4000/vertigo.5253

[104] Christian Pohl and Gertrude Hirsch Hadorn (2008). Methodological challenges of transdisciplinary research. Natures Sciences Sociétés 16 (2) 111-121 (2008). DOI: http://dx.doi.org/10.1051/nss:2008035

[105] Brookfield, H. (Ed.), 2001. *Exploring agrodiversity*. Issues, Cases, and Methods in Biodiversity Conservation Series. Columbia University Press, New York (USA), 348 p.

Nous avons pour cela centré nos recherches sur l'agriculture familiale dans les pays en voie de développement. La gestion de la biodiversité agricole par les paysans dans le cadre de la production agricole constitue le cadre général d'étude pour ancrer tous ces travaux. Considérant que la démarche scientifique traditionnelle monodisciplinaire souligne souvent les échecs des stratégies des petits paysans dans l'adaptation, l'innovation et le développement, la présente étude à partir de l'étude de cas sur la diversité variétale des sorghos au Mali donne une contribution valable pour excentrer cette tendance. Une approche interdisciplinaire apporte l'évidence claire que les exploitants agricoles s'engagent dans des stratégies diverses pour développer des systèmes de production et des systèmes de culture adaptés aux diverses contraintes sociales, économiques, environnementales, etc., de leurs exploitations. Ces stratégies paysannes déterminent les fondements pour la conservation *in situ*, présente et future, des ressources biologiques en agriculture.

Sur le plan spatial, la prise en compte exhaustive de toutes les parcelles cultivées d'un village permet de recenser l'ensemble des cultivars (ou « variétés » paysannes) présents avec leurs adaptations, mais c'est au final la multiplicité des stratégies des paysans qui dessine la richesse du patrimoine biologique du village et l'inscrit dans la logique de diversité culturelle propre aux sociétés agricoles des pays du Sud. C'est donc en analysant comment et pourquoi les agriculteurs choisissent et modifient leur portefeuille de variétés que nous pouvons comprendre les mécanismes de gestion en jeu et chercher à les améliorer avec eux.

Dans un contexte à la fois de décentralisation et de mondialisation, la recherche conduite dans un espace quasi non marchand pour l'acquisition de semences de céréales, montre l'importance du lien entre les échelles spatiales pour appréhender les dynamiques locales (paysan, communauté) et nationales autour de la circulation et de la gestion des ressources communes telle que la biodiversité agricole. Dans la perspective du développement durable, les modalités de la gestion concertée des ressources offrent de multiples configurations avec une pluralité d'acteurs, d'outils, de représentations et les systèmes multi agents (jeux de rôles et modèles multi agents) favorisent le dialogue entre des points de vue différents parfois divergents.

L'objectif général de la présentation de cette succession de projets de recherches sur la gestion paysanne de l'agrobiodiversité est de chercher à dépasser le simple processus de prise de décision du paysan dans le choix des variétés à l'échelle de son exploitation pour comprendre le fonctionnement global du système semencier et notamment l'articulation entre les différents acteurs impliqués dans la régulation des échanges de semences.

[106] Brookfield, H., Padoch C, Parsons H, Stocking M. (Ed.), 2002. *Cultivating biodiversity*. ITDG Publishing and United Nations University, London (UK), 292p.

Cela passe d'abord par la formalisation des liens existants entre le paysan (en tant qu'entité individuelle) et son environnement (au sens large) puis, à la formalisation des règles de choix et des stratégies expliquant les changements dans les variétés semées.

La diversité des ressources phytogénétiques constitue la base biologique de la sécurité alimentaire mondiale car elle fournit des moyens de subsistance à tous les habitants de la planète (FAO[107], 1999 et 2001 ; Wood & Lenne[108], 1999). Ces ressources sont la matière première la plus importante pour le sélectionneur et l'intrant le plus essentiel à l'agriculteur; elles sont donc indispensables à la durabilité des systèmes agricoles. Beaucoup de ressources phytogénétiques en agriculture sont le résultat d'une intervention de l'homme (Figure 1) et plus récemment les sélectionneurs ont exploité cette diversité génétique avec des effets parfois remarquables sur l'amélioration des variétés. La plus grande diversité *in situ* des plantes alimentaires est concentrée dans des régions particulières du monde, très souvent différentes des zones riches d'autres formes de biodiversité. Ces "centres de diversité" en agriculture restent néanmoins largement situés dans les pays en développement où l'agriculture traditionnelle a permis de conserver une diversité de milieux exploités (Boerma[109], 2004). La viabilité des ressources génétiques en agriculture nécessite une gestion humaine, active et continue. Ainsi depuis la signature à Rio de Janeiro de la Convention sur la Diversité Biologique (UNEP[110], 1993), le maintien de la diversité des pratiques humaines apparaît de plus en plus comme une solution pour la conservation d'une diversité élevée dans la biosphère. Cette exigence de co-viabilité des systèmes écologiques et sociaux conduit à s'interroger sur les pratiques et les innovations des usagers locaux des ressources naturelles qu'ils soient individuels mais aussi collectifs/institutionnels. Les conséquences de leurs actions sont alors analysées en termes de dynamique de la biodiversité et de dynamique sociale et économique.

---

[107] FAO, 1999. *The state of the world of Plant genetic resources for food and agriculture* (PGRFA). FAO, Rome (I), 511 p. et FAO, 2001. *Le traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture*. FAO, Rome (I), 45 p.

[108] Wood, D. et Lenne, J.M. (Editeurs), 1999. *Agrobiodiversity: Characterization, utilization and Management*. CABI Publishing, Wallingford (UK), 490 p.

[109] Boerma, D. (Ed.), 2004. *Globally-important Ingenious Agricultural Heritage Systems*, GIAHS Project. Report of the Second International Workshop and Steering Committee Meeting. Rome, 7–9 June 2004. FAO, Rome (I), 30 p.

[110] UNEP, 1993. *Convention on Biological Diversity*. Text and Annexes. CBD/94/1. UNEP/CBD, Montreal, 34 p.

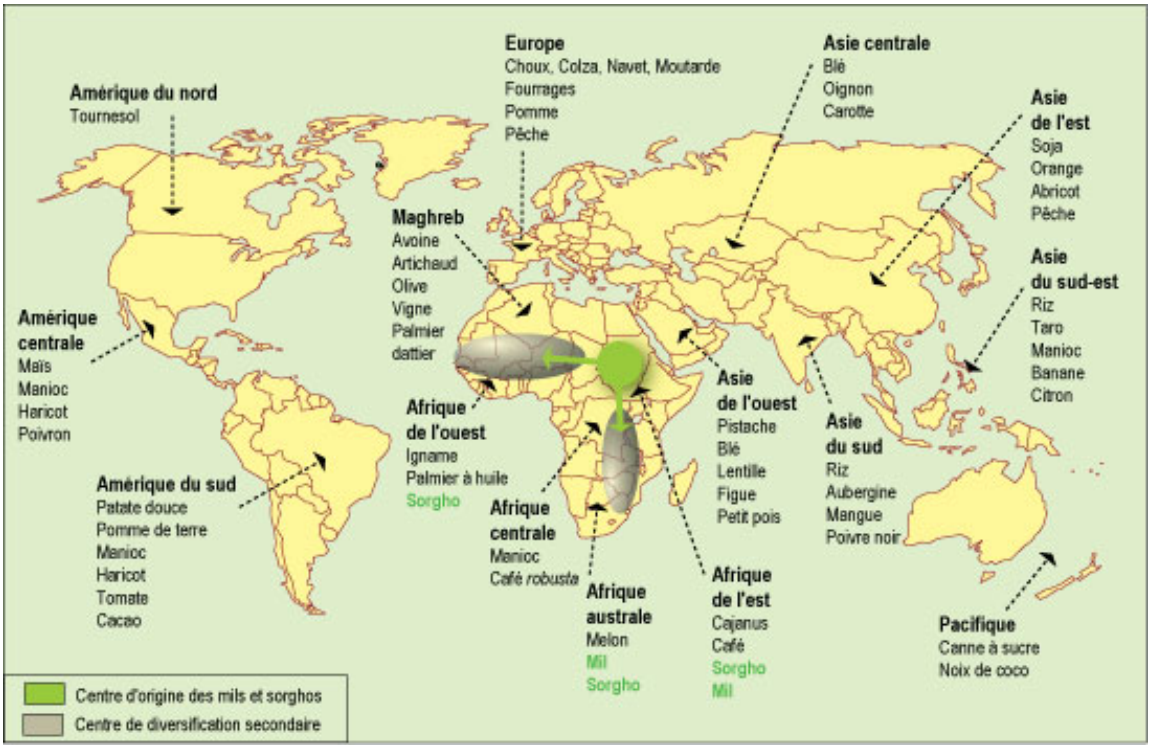


Figure 1 : Principaux centres de diversité des espèces cultivées

© Didier Bazile, 2008. Source : Synthèse bibliographique de Didier BAZILE, 2008

Les politiques de conservation de la biodiversité en tant que démarches de gestion sont désormais au centre des préoccupations de la recherche : plutôt que d'évaluer seulement l'état de la biodiversité, il faut comprendre et gérer l'accès partagé à ces ressources, c'est à dire aborder la gestion dynamique de la biodiversité en agriculture. Les semences fournissent les matières premières à la production agricole et sont un réservoir d'adaptabilité génétique. C'est pourquoi les systèmes semenciers paysans sont centraux à la fois pour la durabilité de la production agricole et pour la conservation de la diversité biologique *in situ.* Dans beaucoup de régions de l'Afrique occidentale, les paysans comptent sur la diversité des variétés locales pour répondre à la diversité des milieux cultivés et aux changements environnementaux. Ces variétés continuent d'évoluer en permanence sous l'effet de pressions de sélection humaine et environnementale, de flux de semences au sein des réseaux d'échanges et de choix formés par des identités socioculturelles différentes. Ces processus participent à la conservation dynamique du patrimoine génétique et ainsi à la création de la nouvelle variabilité génétique d'importance globale. Au Sahel, les agriculteurs ont essentiellement recours à des systèmes semenciers informels, conçus autour de leur propre production de semences (Almekinders[111] *et al.,* 1994). Même s'ils sont méconnus, ils participent à plus de 90% à l'approvisionnement de proximité en semences de céréales. Ils sont aujourd'hui confrontés au renforcement formalisé, habituellement commercial, des systèmes nationaux de

[111] Almenkinders, C.J.M., Louwaars, N.P. and Bruun, G.H.d., 1994. Local seed systems and their importance for an improved seed supply in developing countries. *Euphytica*, 78: 207-216.

production des semences (Almekinders et Louwaars[112], 2002). Les tendances globales mettent en avant de façon systématique la valeur marchande du vivant [dont les variétés] oubliant ainsi les mécanismes d'échanges qui sont partie intégrante de la vie des communautés paysannes dans les zones à risque climatique des tropiques semi-arides. Les paysans ont maintenu leur système local parce qu'il est en mesure de leur apporter plus de sécurité et de productivité que le système semencier national grâce à un fonctionnement susceptible d'entretenir une plus grande diversité. Néanmoins les paysans peuvent accéder aux variétés du Système Semencier National dès lors qu'elles répondent à leurs besoins et objectifs d'approvisionnement en semences.

Actuellement, la gestion des semences par le paysan et l'amélioration des variétés par les chercheurs ont beaucoup de difficultés à trouver des points de rencontre. Les différents acteurs impliqués dans la conservation de l'agrobiodiversité (chercheurs, développeurs et paysans) ont pourtant tous besoin d'intégrer les savoirs scientifiques et locaux dans une représentation partagée du système semencier. Ceci est indispensable pour bâtir un programme cohérent et partagé par ces différents acteurs pour que le maintien *in situ* de la diversité repose sur les valeurs socio-économiques et culturelles des pays africains.

La finalité de ces différents projets de recherche, dont nous dressons ici un bilan, est de renforcer notre capacité commune (paysans et chercheurs) à évaluer l'effet des pratiques de gestion des semences dans les différents systèmes semenciers (étatiques, marchands ou paysans) sur la dynamique de la diversité variétale, et plus largement sur la dynamique de la diversité génétique.

2.2.2 Méthodes

- **Cadre général**

Le travail présenté dans ce chapitre est issu de différentes études menées au sein de six projets distincts où je participais au titre de chercheur du CIRAD comme Coordinateur (ou Co-), Responsable d'une composante ou Chercheur associé:

– le projet *« Agrobiodiversité du sorgho au Mali et au Burkina Faso »* financé par le Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM : 2002-2007) ; Pays concernés : Mali et Burkina Faso.

– le projet *« Modélisation multi-agents des réseaux d'échange de semences pour améliorer la conservation in situ des variétés locales de céréales en Afrique de l'Ouest »* financé par le Bureau des Ressources Génétiques (BRG : 2005-2007) ; Pays concernés : Mali et Niger.

[112] Almenkinders, C.J.M. et Louwaars, N.P.. 2002. The importance of the farmer's seed systems in a functional national seed sector. *Journal of new Seeds*, 4/1-2: 15-33.

– le projet « *Vers une autonomie des agriculteurs sahéliens dans la gestion et l'exploitation de la diversité agricole, pour l'amélioration de leurs stratégies de subsistance* » financé par le Fonds International de Développement Agricole (FIDA : 2005-2007) ; Pays concernés : Mali, Burkina Faso et Niger.

– le projet « *Impact des Modalités d'accès aux Semences sur la diversité génétique en agriculture* » (IMAS) financé par l'ANR-AAP_Biodiversité (2008-2012) ; Pays concernés : Mali et Chili.

– le projet «*Approche ethnologique de la conservation ex situ au Brésil et au Chili*» financé par la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB ; 2008-2009) ; Pays concernés : Brésil et Chili.

– le projet «*Gestion durable de la biodiversité agricole au Mali* » financé par le Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM : 2010-2013) ; Pays concerné : Mali.

La méthodologie générale repose sur le développement, via une démarche de modélisation d'accompagnement (Collectif Commod, 2003, 2005 ; Etienne, 2010), d'un modèle du système semencier capable dans un premier temps de représenter la diversité des situations agricoles présentes au Mali, puis dans un second temps de monter en généricité pour être susceptibles de comprendre les dynamiques en jeu parmi la diversité des systèmes semenciers. Ce modèle doit permettre de caractériser les circuits d'approvisionnement en semences et l'accessibilité des paysans au sein de la communauté à la diversité des variétés. Le souci de développer un modèle multi-agents intégrant dès sa conception des éléments susceptibles d'augmenter la généralité, la généricité et l'adaptabilité du modèle a été pris en compte en travaillant à plusieurs échelles et sur différents sites. « Le » modèle dans une telle démarche n'est pas unique mais il matérialise dans son évolution chaque étape d'une démarche d'accompagnement faisant usage de la modélisation comme support pour l'expression et le dialogue autour des différents points de vue.

- **Principaux sites d'étude au Mali**

Dans le souci de prendre en compte au mieux la diversité des situations agricoles du Mali, les sites d'étude s'étalent sur tout le gradient nord-sud de la zone de culture du sorgho pluvial au Mali (de 16°N à 11°N) en sortant largement de la zone agricole dite Mali-sud représentant la zone de culture du cotonnier. Des enquêtes générales ont été conduites sur plus d'une trentaine de village avec des études approfondies sur 5 sites pilotes (Tassiga, Petaka, Kanian, Kaniko et Siramana) (Figure 2). Ces derniers représentent un transect bioclimatique entre Gao et Sikasso avec des systèmes agraires diversifiés (Figure 3) tant sur le plan des espèces cultivées pour répondre à des différentes climatiques fortes (de 200 à 1200 mm de précipitations annuelles) que sur le plan culturel avec des ethnies et des organisations sociales distinctes. Les différents ateliers participatifs organisés au cours de cette recherche, et auxquels nous ferons ensuite référence, ont eu lieu en interaction avec

les différents groupes d'acteurs (paysans, vulgarisateurs, ONG, institutions publiques, chercheurs) ayant des liens directs ou indirects avec ces 5 principaux villages (sites pilotes) à différentes échelles d'interactions (village-région-pays).

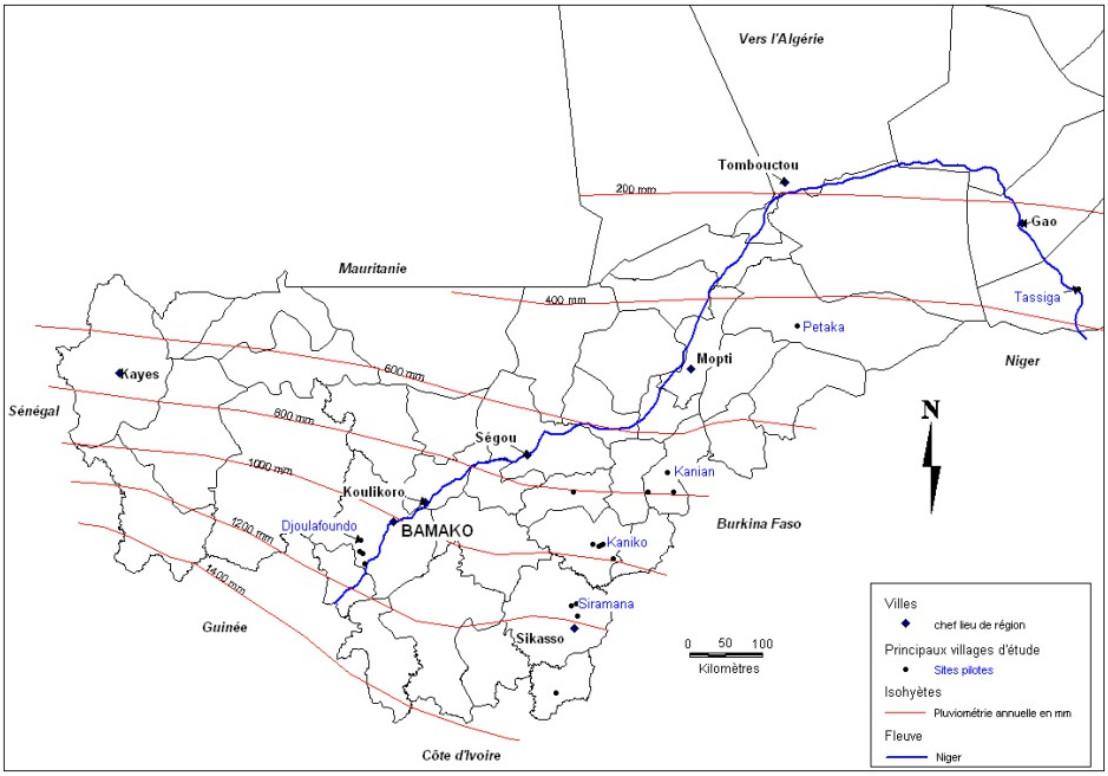


Figure 2 : Localisation de principaux sites d'étude

© Didier Bazile, 2006. Source : Didier BAZILE, Projet BRG, 2005-2006

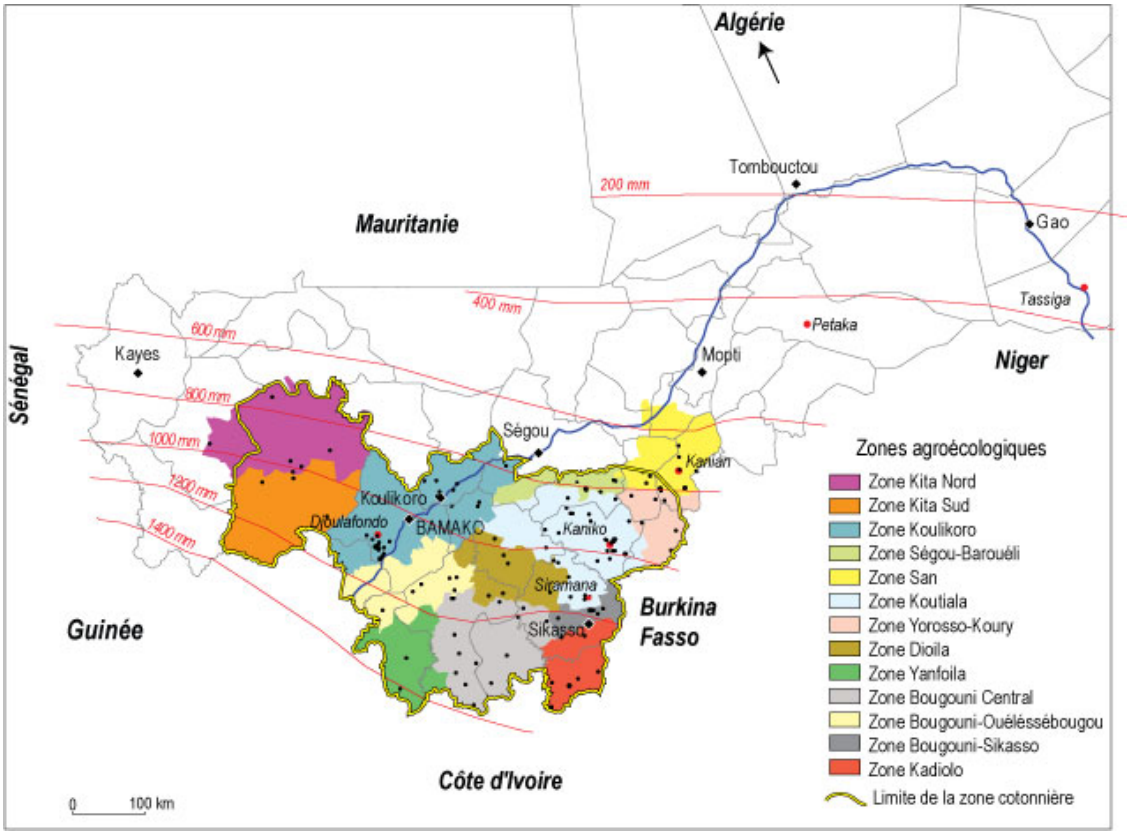


Figure 3 : Zonage agroécologique représentant la diversité des systèmes agraires de la zone agricole dite Mali-Sud à partir de critères liés au milieu biophysique (climat, sols, pente, etc.), à l'environnement social (organisation de la société, du travail, accès aux marchés, etc.), aux données démographiques (densités de population, flux migratoires, etc.) et à leur connexion avec les systèmes techniques.

© Didier Bazile, 2005. Source : Didier BAZILE et Mamy SOUMARE, Projet PASE-AFD, 2005

- **Le cadre de la modélisation d'accompagnement**

La modélisation d'accompagnement est une démarche mise au point par un collectif de chercheurs issus de différentes disciplines (Bousquet[113] *et al.*, 2002 ; Antona[114] *et al.*, 2003). Elle vise à faciliter des processus collectifs de décision sur la gestion de ressources naturelles en s'appuyant sur la formalisation des points de vue et des critères subjectifs auxquels se réfèrent les différentes parties prenantes. Cette formalisation s'opère dans différents modèles construits au cours de cycles itératifs permettant la remise en question continue des représentations individuelles et/ou collectives. Un cycle de modélisation d'accompagnement (Figure 4) comporte typiquement trois étapes : 1. Synthèse des connaissances existantes 2. Formalisation dans un modèle 3. Simulation et confrontation aux parties prenantes.

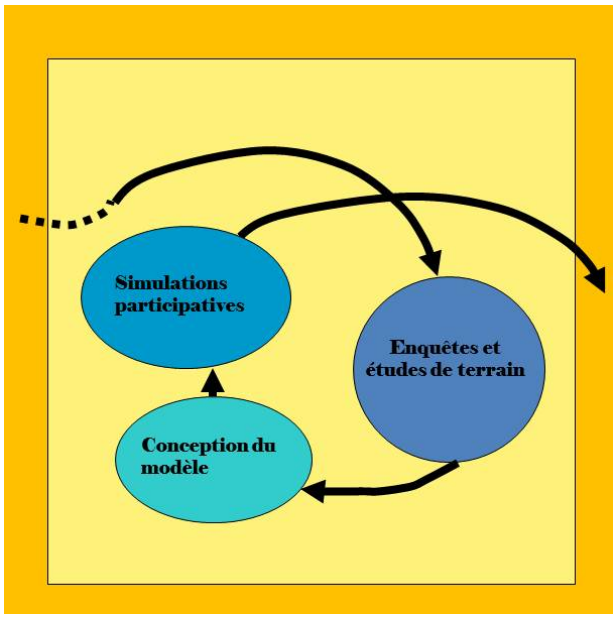


Figure 4 : Présentation d'une boucle de modélisation d'accompagnement (ComMod)

La dynamique variétale dans les agricultures du Sud est marquée par la difficulté à en circonscrire les déterminants, c'est pourquoi la recherche sur les systèmes complexes peut appuyer la transdisciplinarité nécessaire à sa compréhension. Nos travaux s'intéressent de fait aux connexions entre les disciplines plus qu'à leurs contenus respectifs, en mobilisant des outils, les SMA, qui sont intégrateurs et capables de créer de véritables synergies. Les outils de la modélisation d'accompagnement se prêtent bien à l'analyse des problèmes sociaux ayant une composante spatiale. Leur capacité à intégrer la multiplicité des relations et rétroactions opérant dans le système renforce aussi la fiabilité des scénarios étudiés, révélant les effets liés

[113] Bousquet, F. *et al.*, 2002. Multi-agent systems and role games: collective learning processes for ecosystem management. *In* M.A. JANSSEN (Ed.), *Complexity and ecosystem management*, Edward Elgar Publishing, pp. 248-285.

[114] Antona, M. *et al.*, 2003. Our Companion Modelling Approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6-1,http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/1.html.

à certains choix ou certaines normes. Leur souplesse et leur modularité permettent l'intégration de modèles plus déterministes décrivant le fonctionnement des agroécosystèmes. Enfin, la modélisation d'accompagnement est adaptée au dialogue et à la synergie entre acteurs locaux, chercheurs et utilisateurs finaux, contribuant ainsi au succès de la démarche participative en évitant, ou tout du moins en limitant tant que se peut, malentendus, conflits ou manipulations.

Les Systèmes Multi-Agents (SMA) sont issus du domaine de l'intelligence artificielle distribuée qui cherche à résoudre les problèmes par la coordination d'agents hétérogènes indépendants. L'environnement est constitué des objets et ressources accessibles aux entités et peut prendre la forme d'une grille spatiale. Les agents perçoivent leur environnement et les autres agents puis, s'en construisent des représentations. Les SMA sont adéquats pour la simulation de formes de coordination notamment les changements de règles de gestion et les effets superposés des stratégies individuelles et des règles collectives.

Le jeu de rôle (JdR) correspond à la mise en scène d'une situation complexe dans un espace contrôlé. Le jeu construit est un modèle, c'est-à-dire un archétype de la réalité, ce qui permet de prendre de la distance avec le monde réel. Il sert alors de médiateur avec la réalité.

Dans notre démarche, nous avons utilisé les outils de prédilection de la modélisation d'accompagnement que sont les systèmes multi-agents (SMA) et les Jeux de Rôles (JdR).

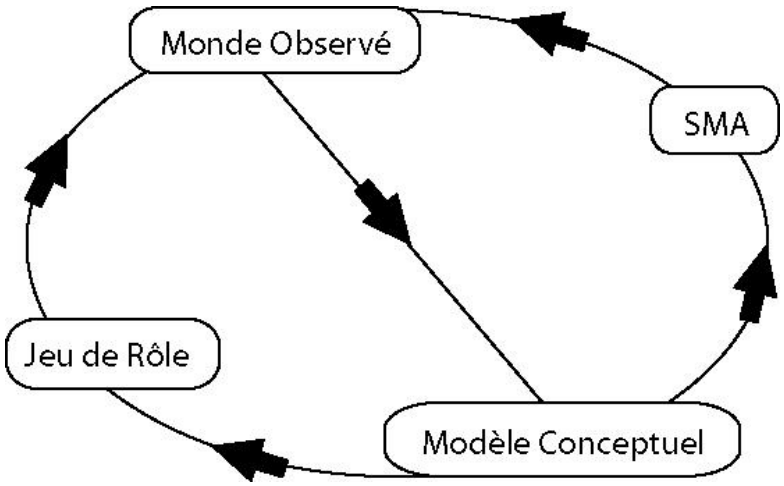


Figure 5 : Le lien entre le terrain et le modèle dans une démarche de modélisation d'accompagnement

- **Une diversité d'enquêtes**

Un travail colossal d'enquêtes a été conduit au départ durant 4 années (2002-2005) au Mali avec pour objectif principal la caractérisation des écosystèmes à base de sorgho (tableau I). L'identification des variables constituant l'environnement des systèmes de cultures à base de sorgho a été conduite autour de trois axes : 1- l'analyse socio-économique des

agroécosystèmes céréaliers ; 2- l'analyse agronomique de la culture du sorgho ; et 3- l'analyse de la biodiversité du sorgho et des facteurs relatifs à son évolution. Cette approche classique a été couplée avec la création d'un système spatialisé d'information sur l'environnement du sorgho intégrant la caractérisation bioclimatique du pays et les résultats d'un zonage agroécologique. Une cartographie détaillée des sites pilotes à l'échelle des territoires villageois a été conduite avec comme objectif de préciser la place de la diversité variétale du sorgho dans les stratégies d'assolement. L'analyse des modes de culture du sorgho s'appuie alors sur le choix des variétés en fonction des facteurs de l'environnement. L'approche spatiale permet de bien prendre en compte l'abondance des différentes variétés au-delà d'une simple liste représentant une richesse variétale (Figures 6 à 14).

Tableau I : Enquêtes réalisées au Mali de 2001 à 2005

Objectif de l'enquête	***Régions concernées***	***Taille de l'échantillon***	***Période d'enquête***
Caractériser les systèmes de production	Ensemble du Mali agricole	6190 exploitations sur 124 villages	2001 à 2003
Définir les critères paysans de choix variétaux	3 villages représentant 3 régions	Diagnostic participatif en assemblée villageoise suivi d'entretiens individuels avec 30% des paysans	2003
Analyser le nombre de variétés de céréales (mil, sorgho, maïs) semées par exploitation	6 régions	1775 exploitations sur 31 villages	2003
Décrire les modes de cultures du sorgho et du maïs : itinéraire technique détaillé par variété et par type de sol	1 village * 3 régions	73 exploitations agricoles, 200 parcelles suivies par an	Suivi sur 4 années consécutives (2002-2005)
Comparer dans un réseau d'essais multi locaux l'adaptation de variétés de sorgho issues de la recherche avec un témoin local sorgho et un maïs	1 village * 3 régions	10 paysans par village	2003, 2004 et 2005
Analyser les choix variétaux dans le calendrier cultural	1 village	35 exploitations, 380 parcelles suivies à 3 dates d'installation des cultures	2003
Suivre la démographie des variétés (introduction, culture, abandon)	2 villages * 4 régions	Enquête exhaustive des exploitations	2003 et 2004
Analyser les réseaux d'échanges de variétés	4 villages représentant 4 régions	Enquête exhaustive des exploitations	2004
Caractériser les pratiques de sélection des semences	2 villages représentant 2 régions	Echantillon : 50% des exploitations	2004
Comprendre les critères de changement de variétés	2 villages représentant 2 régions	Echantillon : 40% des exploitations	2005

La succession d'enquête réalisées au Mali sur les systèmes de cultures à base de sorgho avec une progression depuis des questions d'ordre général vers des questions plus spécifiques sur la gestion des variétés a été reconduite au Chili sur des systèmes de culture

à base de quinoa tableau II). Ces deux situations s'intéressent à la gestion dynamique de la diversité variétale d'une espèce cultivée d'importance alimentaire dans son centre d'origine pour sa domestication. La comparaison et confrontation de ces deux terrains a été construite sur la base de la montée en généricité des modèles, avec notamment un accent particulier mis sur le rôle porté par la conservation *ex situ* en cas de perte des variétés cultivées par les paysans.

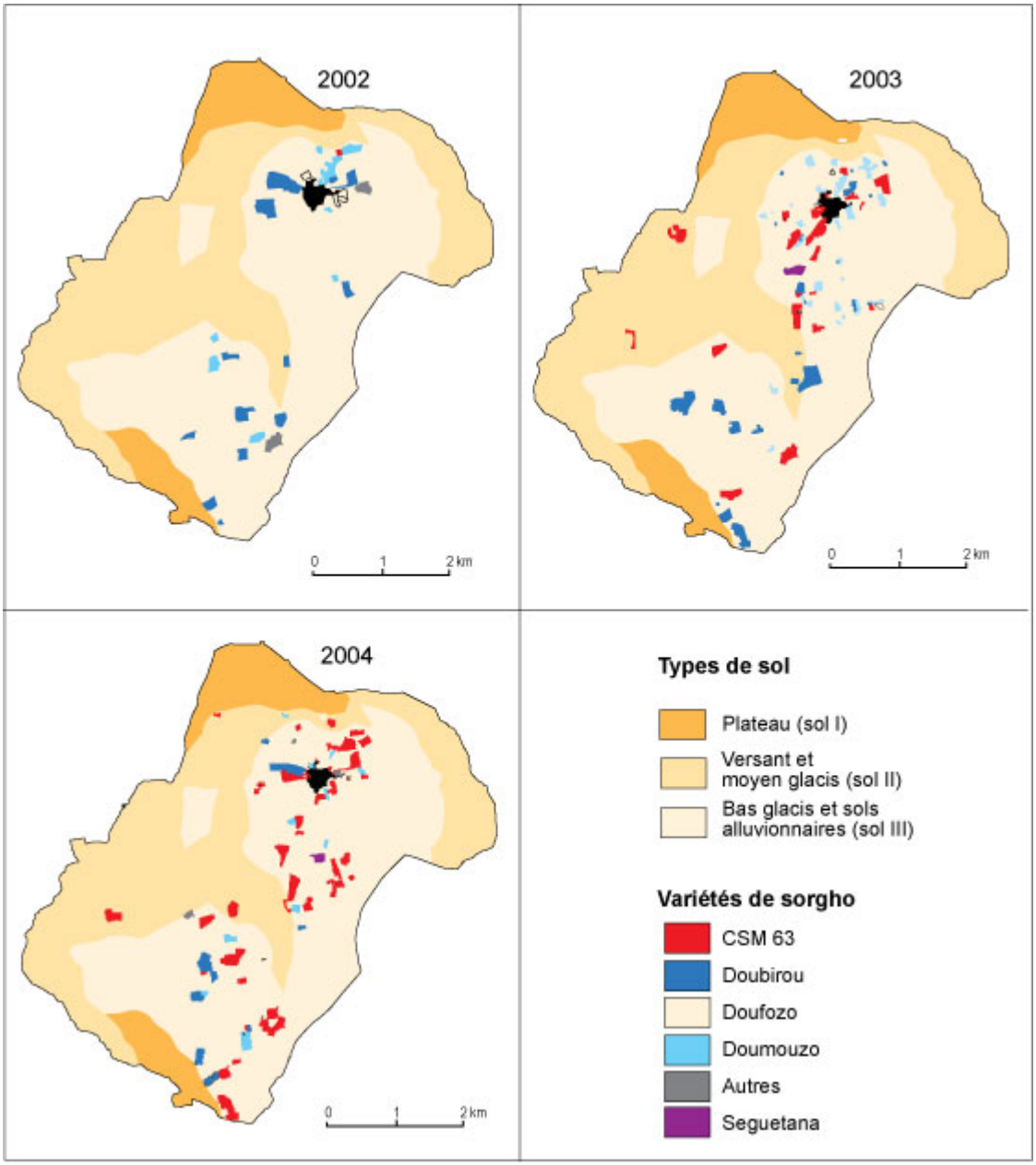


Figure 6. Distribution dynamique des variétés de sorgho selon les types de sols dans le village de Kanian (Région de San, , Mali) entre 2002 et 2004.

© Didier Bazile, 2008. Source : Didier BAZILE et Mamy SOUMARE, Projet FFEM, 2002-2007

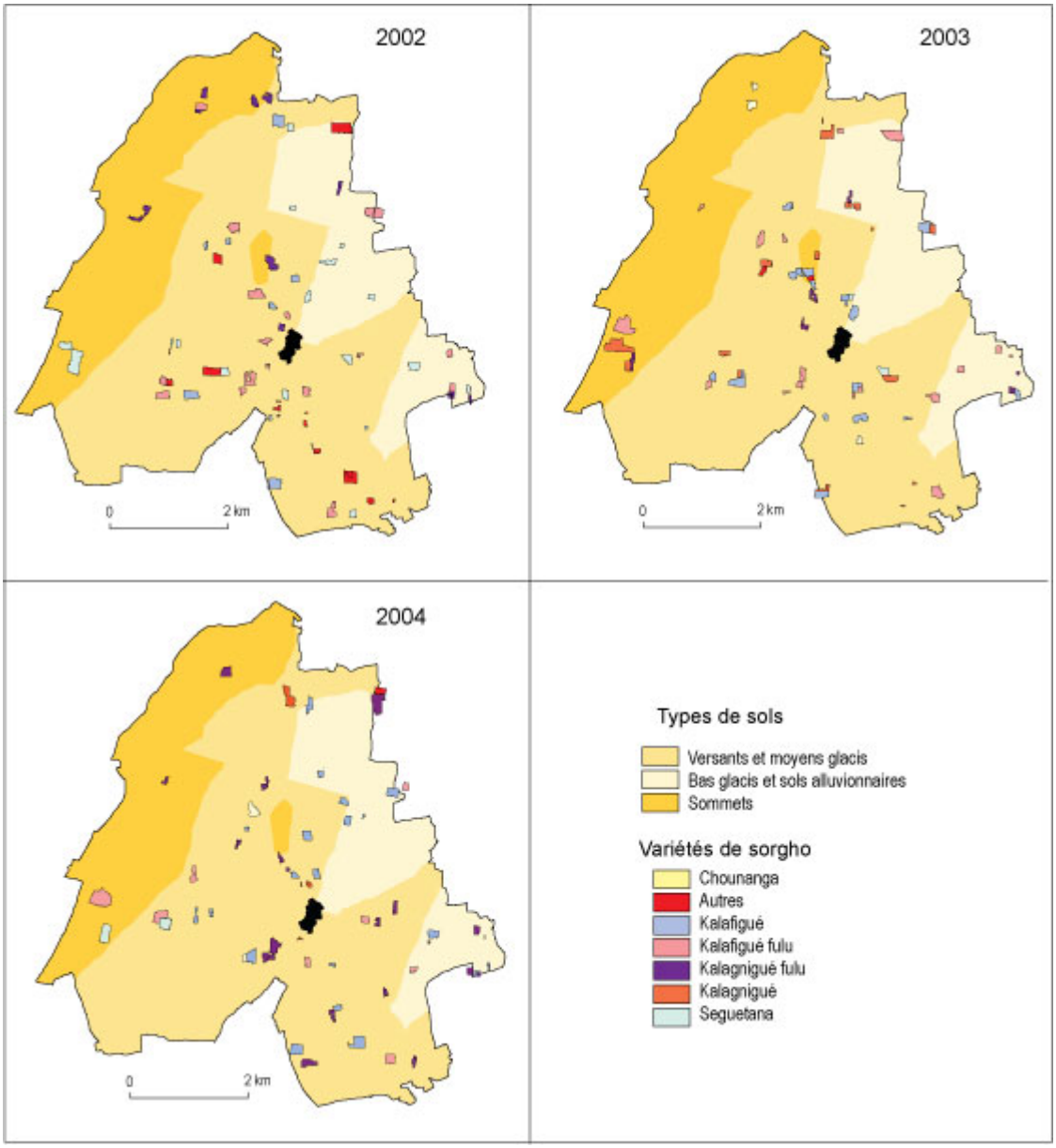


Figure 7. Distribution dynamique des variétés de sorgho selon les types de sols dans le village de Kaniko (Région de Sikasso, Mali) entre 2002 et 2004

© Didier Bazile, 2008. Source : Didier BAZILE et Mamy SOUMARE, Projet FFEM, 2002-2007

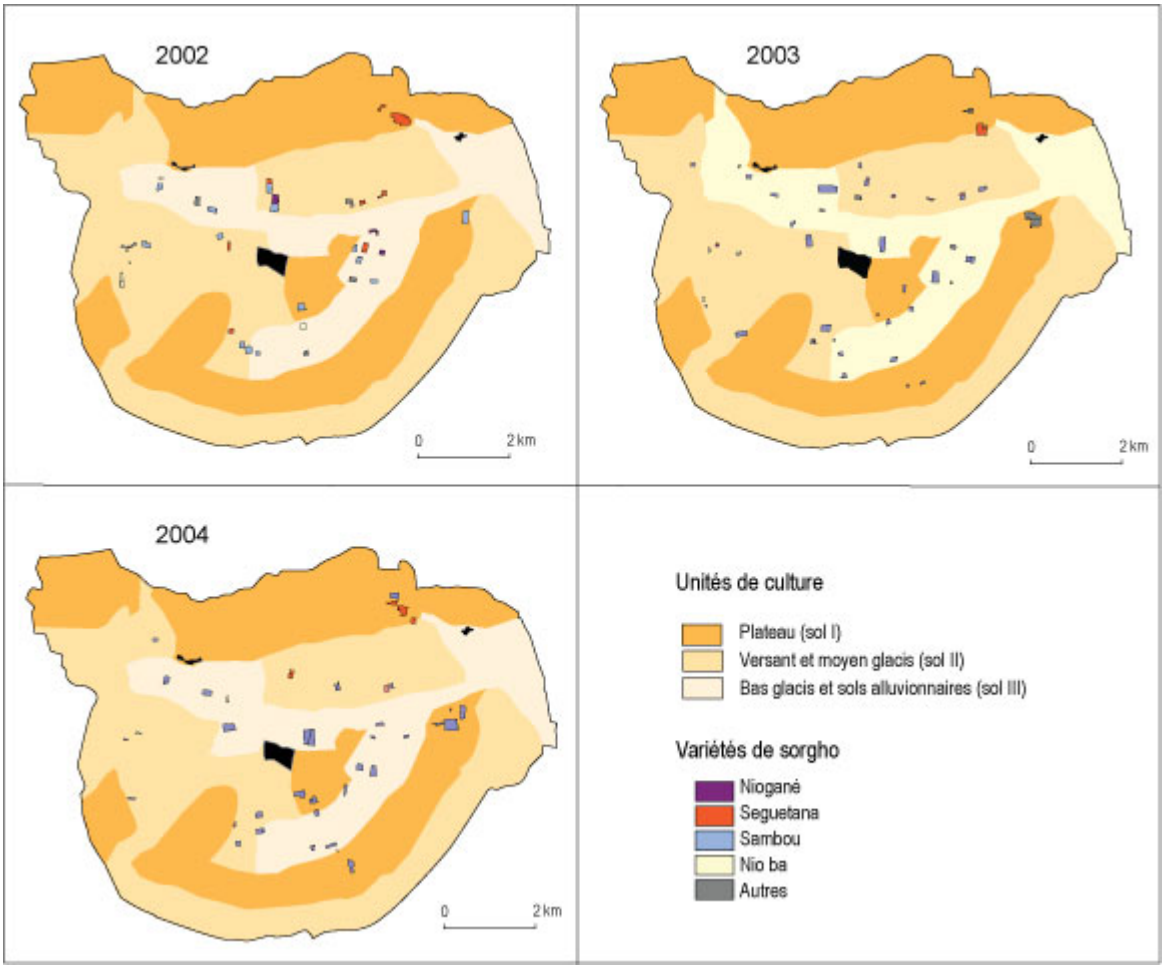


Figure 8. Distribution dynamique des variétés de sorgho selon les types de sols dans le village de Siramana (Région de Sikasso, Mali) entre 2002 et 2004

© Didier Bazile, 2008. Source : Didier BAZILE et Mamy SOUMARE, Projet FFEM, 2002-2007

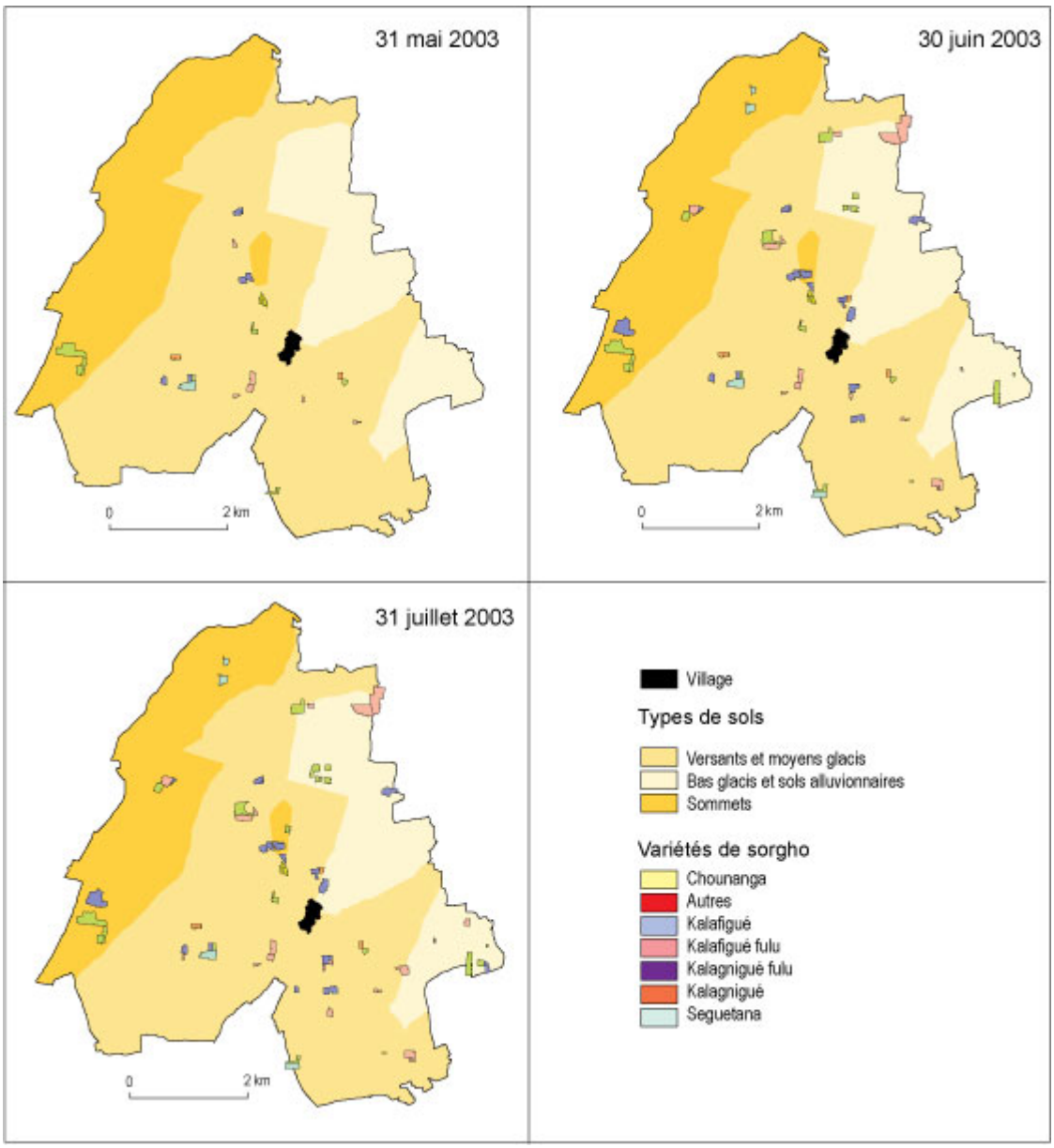


Figure 9. Dynamique d'installation des cultures avec l'installation de la saison des pluies et révision des choix de variétés de sorgho selon les types de sols dans le village de Kaniko (Région de Sikasso, , Mali) entre mai et juillet 2003

© Didier Bazile, 2008. Source : Didier BAZILE et Emmanuelle PATETSOS, Projet FFEM, 2003

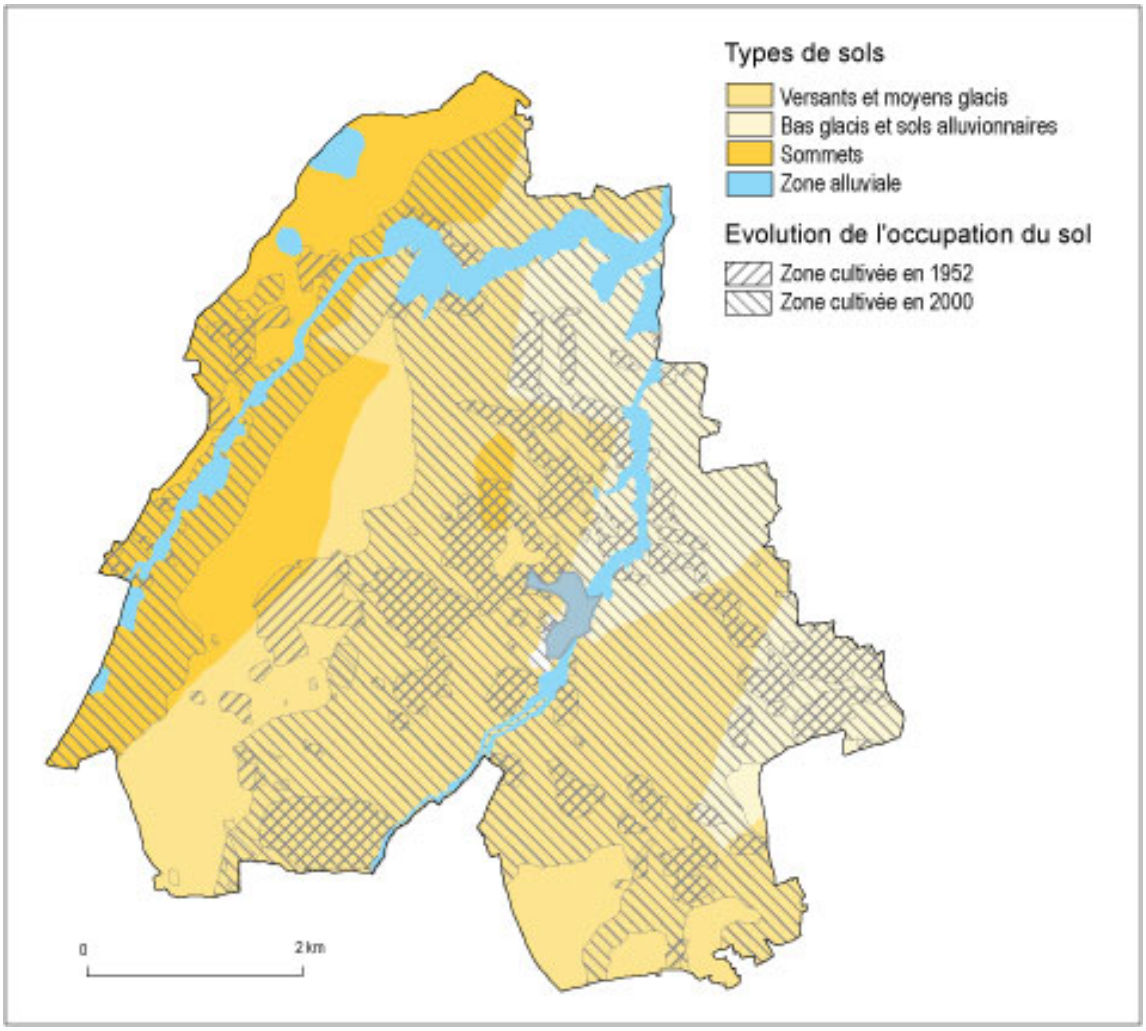


Figure 10. Dynamique d'occupation des terres selon les types de sols dans le village de Kaniko (Région de Sikasso, , Mali) entre 1952 et 2000

© Didier Bazile, 2008. Source : Didier BAZILE, Projet FFEM, 2002-2007

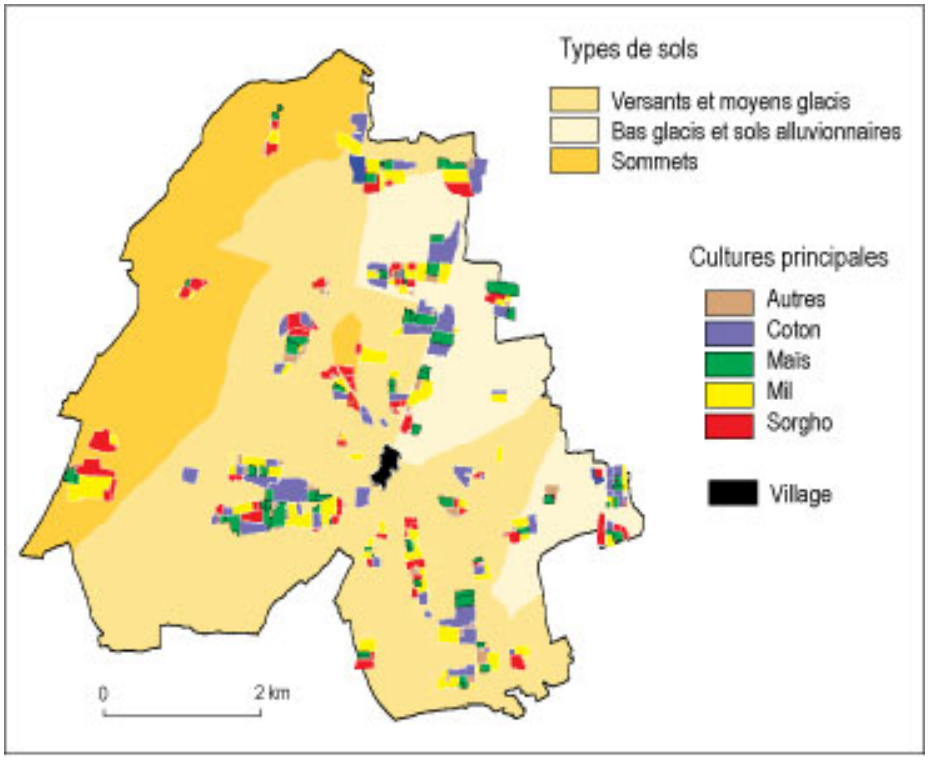


Figure 11. Etat de l'occupation des terres par culture selon les types de sols dans le village de Kaniko (Région de Sikasso, , Mali) en 2002 (à partir d'un écantillon de 30% des exploitations agricoles). © Didier Bazile, 2008. Source : Didier BAZILE et Mamy SOUMARE, Projet FFEM, 2002-2007

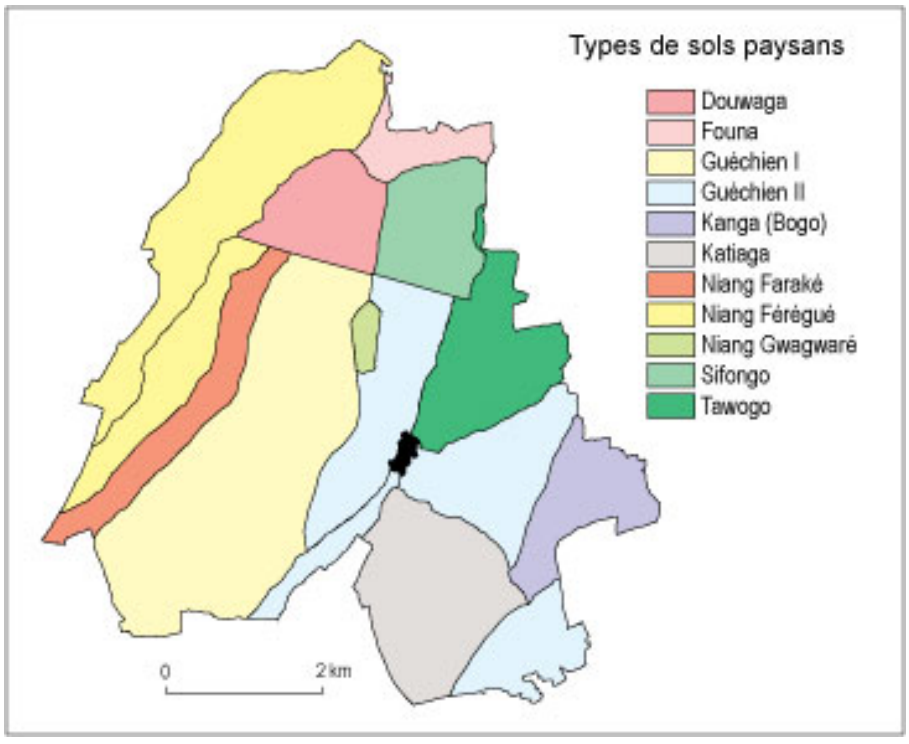


Figure 12. Caractérisation de la classification paysanne des sols du village de Kaniko (Région de Sikasso, , Mali) © Didier Bazile, 2008. Source : Didier BAZILE et Mamy SOUMARE, Projet FFEM, 2002-2007

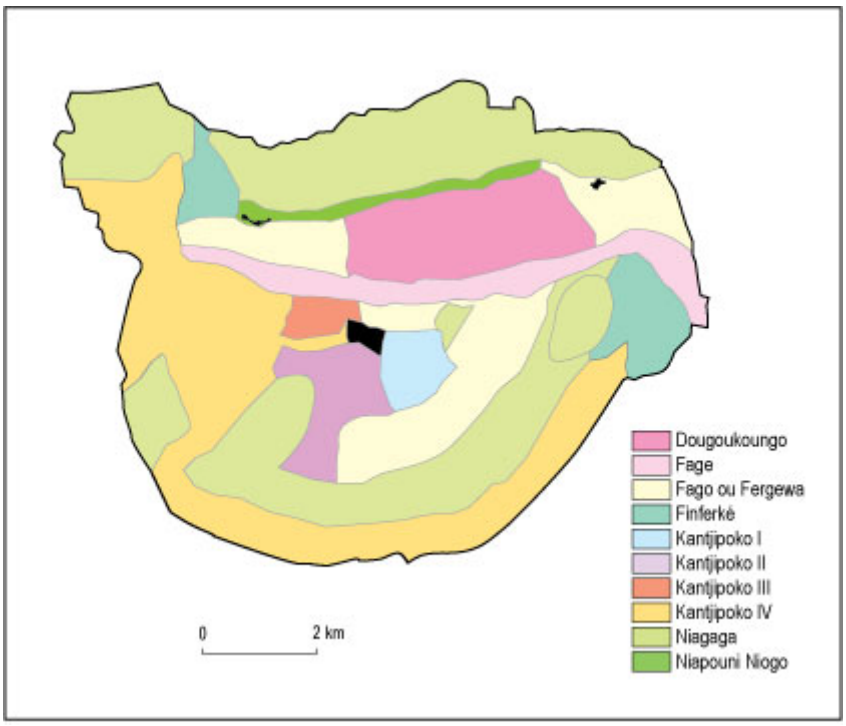


Figure 13. Caractérisation de la classification paysanne des sols du village de Siramana (Région de Sikasso, , Mali) © Didier Bazile, 2008. Source : Didier BAZILE et Mamy SOUMARE, Projet FFEM, 2002-2007

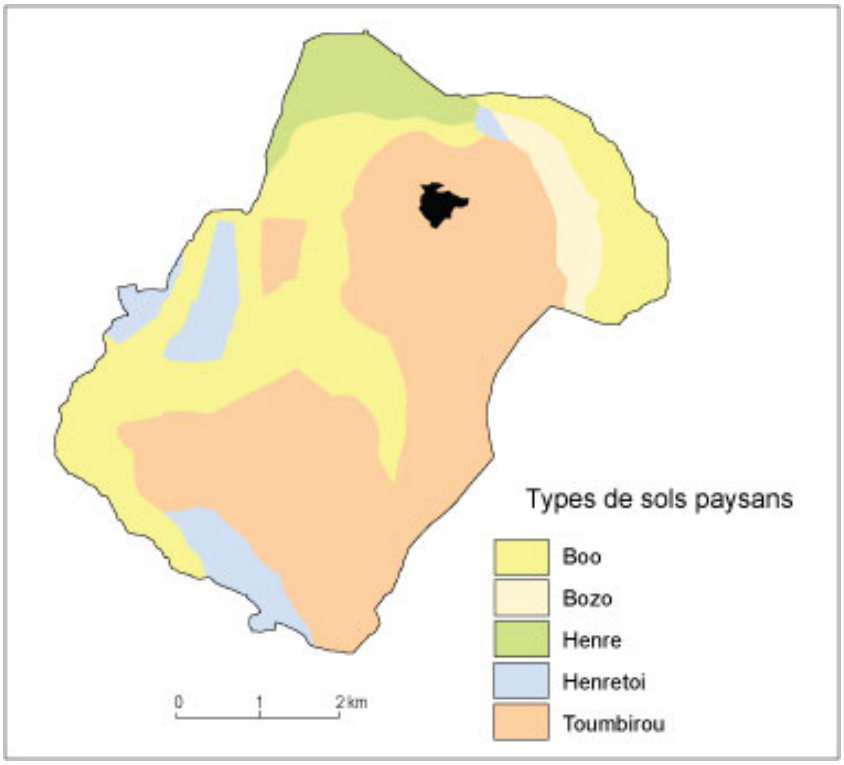


Figure 14. Caractérisation de la classification paysanne des sols du village de Kanian (Région de San, , Mali) © Didier Bazile, 2008. Source : Didier BAZILE et Mamy SOUMARE, Projet FFEM, 2002-2007

Tableau II. Enquêtes réalisées au Chili de 2008 à 2011.

Période d'étude	Objectifs et variables-clés		Zone d'échantillonnage et taille de l'échantillon
2008-09	Caractérisation générale des zones de culture par prospection à partir d'un questionnaire général sur l'histoire de la culture de quinoa dans la zone Choix des terrains d'étude du projet	Présence de quinoa dans la zone Insertion du quinoa dans les activités économiques Environnement dans lequel a évolué la culture de quinoa dans les 30 dernières années	Plusieurs régions de culture du quinoa dans le nord, le centre et le sud. Prospection avec accompagnement par une personne connaissant bien le terrain.
2008	Acquérir les connaissances de base sur les pratiques culturales du quinoa au Chili	Systèmes de production Première description des variétés	Nord : 21 (2 secteurs de la commune de Colchane) Centre : 13 (6 secteurs dans la région VI et 1 dans la région VII) Sud : 6 (3 communes)
2009	Connaissance des systèmes de production Description détaillée de la diversité variétale et de l'accès aux semences Premières informations sur la circulation des semences	Diversité des semences et leur utilisation spécifique Critères de choix des semences Place de chaque variété dans le système de culture	Nord : 48 (2 secteurs de la commune de Colchane) Centre : 29 (3 secteurs des communes de Pichilemu, Pumanque et Paredones) Sud : 30 (4 communes)
2010	Modalités de circulation des semences Commercialisation Lien au marché de chaque exploitation et orientation du choix de variétés par « l'effet marché » Elaboration de scénarios	Fournisseurs de semences Précision des critères de choix des semences et utilisation (Modalités de sélection, d'introduction de nouvelles variétés, de remplacement Modalités d'échanges	Nord : 25 (2 communes et 3 secteurs) Centre : 29 (3 secteurs des communes de Pichilemu, Pumanque et Paredones) Sud : 29 (2 secteurs : Villarica-Pucón=16, Lumako=13)
2011	Révision des scénarios Définition des 3 scénarios finaux pour la modélisation Travail ciblé sur la relation directe producteur-restaurateur (Sud)	Variables manquantes nécessaires à la description des scénarios (enquêtes de personnes ressources)	Entretiens avec 10-15 personnes-clés par zone

2.2.3 Développement continu des outils

Après avoir resitué le contexte et les objectifs de ce travail, puis les méthodes utilisées, nous avons ensuite présenté la démarche générale de modélisation d'accompagnement qui sous-tend notre méthodologie. Nous allons maintenant préciser les outils que nous utilisons : les jeux de rôles et les systèmes multi-agents.

Nous détaillons dans la figure 15 l'évolution continue de notre compréhension du système aux différentes étapes de la recherche. Comme dans tout processus de recherche, la problématique sert à formuler les premières hypothèses qui sont issues d'une analyse de la bibliographie et/ou d'enquêtes de terrain. Cette formulation initiale d'hypothèses de fonctionnement du système semencier est à la base de la formalisation de notre représentation dans un modèle multi agent expert initial (Modèle expert dit Sorgho-Mali) (Figure 15 et 16).

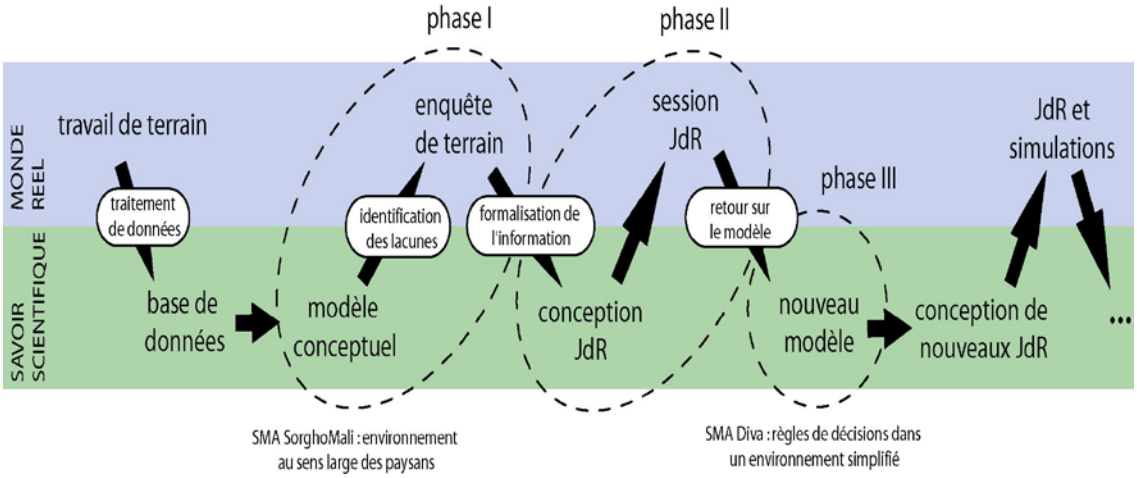


Figure 15. Les allers retours entre le terrain et le modèle dans la démarche de modélisation d'accompagnement. *D'après.* ***Tryphon-Dionnet, M., 2005****. Pour une gestion paysanne de l'agrobiodiversité : le cas du sorgho au Mali. DESS Espace et Milieu, Université Paris 7 - Denis Diderot, Paris, 103 pp.*

La désagrégation de cette représentation initiale dans un premier jeu de rôle donne l'opportunité aux paysans de représenter les actions qui correspondent à leurs pratiques et prises de décision. Un nouveau modèle (DIVA) représente de façon simplifiée le comportement des agriculteurs pour le choix et le remplacement de leurs variétés. Afin de considérer les autres éléments du système semencier, trois autres jeux de rôles portant sur les différents de modules de décision du paysan aident à mieux prendre en compte les liens du paysan à son environnement au sein d'une campagne agricole et sur le temps d'une rotation dans leur système de cultures.

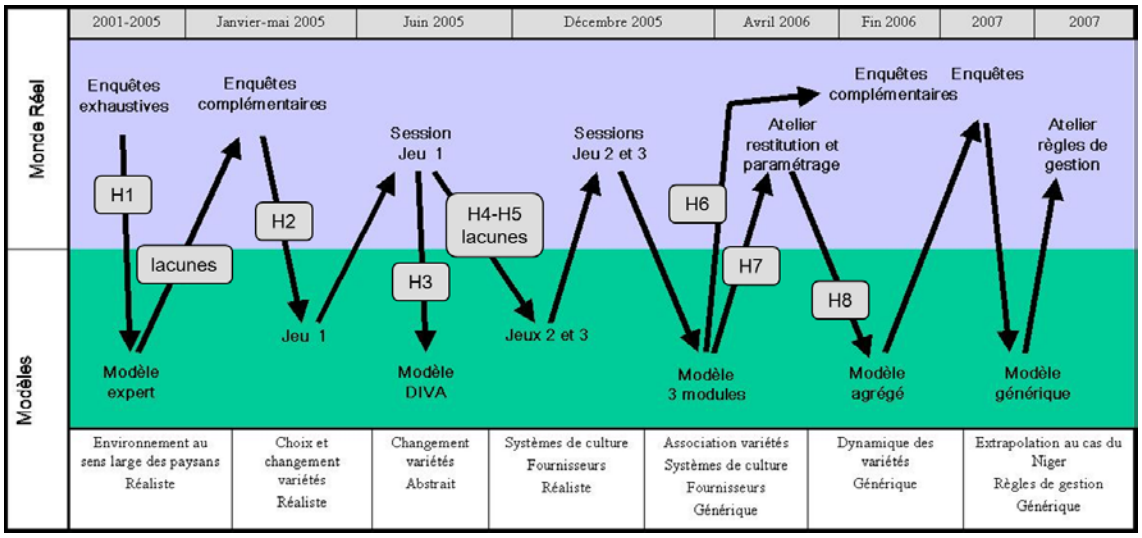


Figure 16. Structuration de la démarche itérative de modélisation d'accompagnement avec remise en question permanente des modèles et définition de nouveaux groupes d'hypothèses (H1 à H8) à chaque pas de temps de la construction du/des modèle (s).

H1 : La composition de l'assolement dépend de la taille de l'exploitation. Chaque exploitation gère 1 ou 2 variétés. Le morcellement est le facteur principal de diversité variétale. Les paysans changent de variété en moyenne 1 année sur 10.

H2 : Il y a plusieurs facteurs conduisant au changement de variété : le climat principalement; le changement de stratégie agricole (e.g. introduction d'une nouvelle culture) ou la volonté d'innover. Le test d'une variété se déroule sur une surface réduite durant plusieurs années modifiables selon les critères ayant conduit au changement variétal.

H3 : Il y existe 3 types de stratégies d'association de variétés. L'acquisition d'une nouvelle variété peut résulter soit d'une recherche active soit d'un comportement passif d'imitation.

H4 : Les précédents dans la rotation influencent le choix des variétés.

H5 : Les nouvelles variétés sont acquises dans un voisinage spatial ou social. Certains agriculteurs jouent un rôle spécial dans l'approvisionnement en semence.

H6 : Les types d'exploitations pour décrire les pratiques de gestion des variétés de sorgho doivent rendre compte de la surface totale cultivée et de l'équipement disponible. Les variétés peuvent regroupées en types correspondant à des longueurs de cycle végétatifs distincts et dont l'association entre variétés issues de différents types détermine une stratégie particulière. Le choix d'une variété particulière de sorgho dépend au départ de son écologie pour déterminer sa faculté d'adaptation dans un contexte environnemental donné, ensuite s'ajoutent les critères personnels de choix. L'assolement moyen dépend du climat de la région agricole considérée.

H7 : Le circuit de recherche d'une variété est fonction du type de variété recherché en lien avec les raisons qui ont déterminé ce changement de variété.

H8 : La prise de décision du paysan combine différentes stratégies qui se hiérarchisent.

Les nouvelles hypothèses issues des ateliers de jeux de rôle sont intégrées dans un modèle multi-agent (DIVA-modules) global à portée générique. Après avoir validé et paramétré le modèle avec les paysans, celui-ci nous permet d'explorer des scénarios et de construire nouvelles règles de gestion des semences via les simulations participatives. Malgré tout, DIVA-modules n'est performant que pour analyser les dynamiques d'évolution des variétés au sein des villages.

IMAS[115], du nom du projet ANR où il a été développé, est un modèle conceptuel qui élargit les points de vue portés sur le système semencier en l'ouvrant à différentes disciplines (Figure 17). SIMAS, le modèle de simulation informatique associé à IMAS, donne la possibilité de tester différents scénarios d'évolution du système semencier construits autour des effets du changement climatique et de l'impact des politiques publiques liés à l'adoption de variétés issues de la recherche. Leur mise en scène dans des jeux de rôle donne la possibilité de débattre avec les différents acteurs du système de l'impact de chacun d'eux sur la dynamique de la biodiversité.

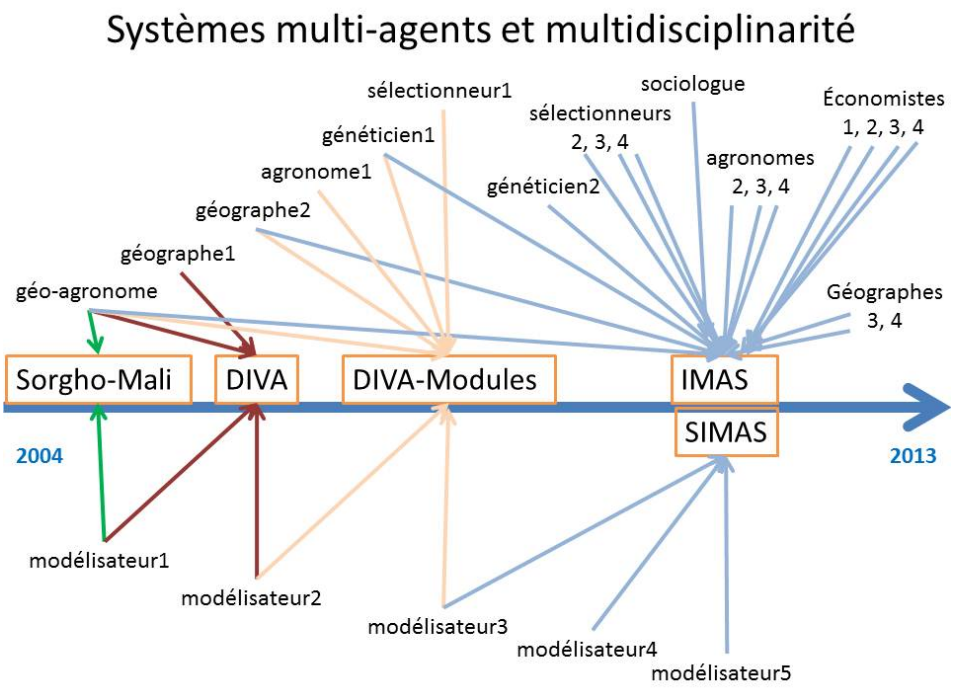


Figure 17: Ouverture progressive de la multidisciplinarité à la pluridisciplinarité, puis transdisciplinarité au cours du processus de modélisation *(La couleur des flèches correspond à chaque étape du développement d'un nouveau modèle. Les numéros mentionnés à côté des disciplines permettent de distinguer spécifiquement les personnes impliquées dans une seule étape ou tout au long du processus de modélisation avec la production de quatre modèles distincts.)*

[115] IMAS, acronyme du projet ANR signifiant : Impact des Modalités d'Accès aux Semences sur la dynamique de la diversité génétique en agriculture. Coordination par Didier BAZILE (CIRAD, UPR GREEN) avec comme principaux partenaires CIRAD, IRD, INRA et l'institut d'Economie Rurale et l'Icrisat (CGIAR) au Mali, et le Centro de Estudios Avanzados en Zonas Aridas (CEAZA) au Chili.

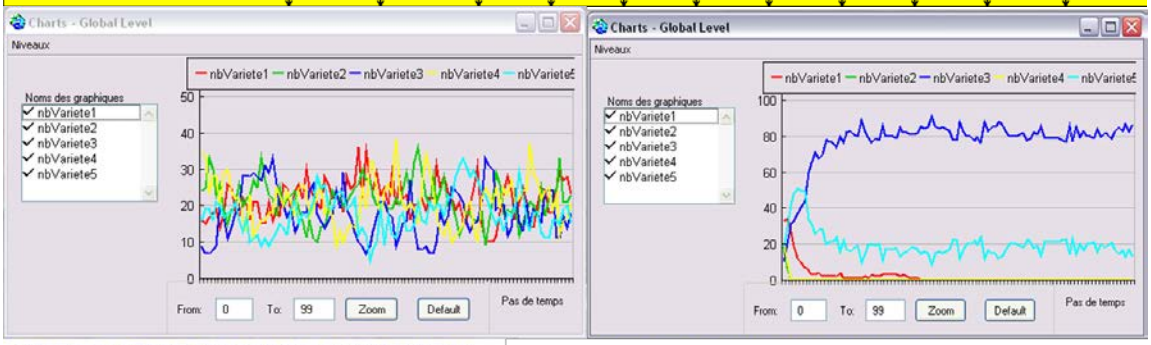
- **Finalité des différents SMA co-construits au cours du processus de modélisation**

En 2004, un premier travail en binôme avec Christophe Le Page (UPR Green, Cirad) avait pour objectif de formaliser le contexte de la gestion des variétés de sorgho dans le contexte d'un village malien. Cette première représentation des éléments à considérer pour représenter les actions du paysan dans leur environnement a donné lieu à l'élaboration du 1er modèle expert Sorgho Mali. Le modèle correspond à une photographie à un instant *t* de la diversité des exploitations agricoles situées dans un village malien virtuel. Il s'agissait d'une vision statique de catégories d'agriculteurs n'interagissant pas entre eux et n'ayant pas la possibilité de prendre de décisions agissant sur les dynamiques du système.

En 2005, lors de l'encadrement du stage de DESS de Mathieu Tryphon-Dionnet, un second modèle dénommé DIVA, pour DIversité VAriétale, a été développé suite à une nouvelle boucle Commod alternant terrain, jeu de rôle et phase de modélisation informatique (SMA). Celui-ci a été implémenté sur la plateforme Cormas[116]. A l'issue du premier Jeu de Rôle est ressortie l'importance d'analyser et de décrire les différents comportements du paysan face au changement de variétés (Tryphon, 2005). Le modèle DIVA ne traite pas de la spécificité des différents comportements paysans mais il aborde de façon théorique une représentation de ceux-ci sur la base de deux statuts opposés : le paysan expérimentateur qui a en permanence une démarche active d'évaluation des variétés pour faire ses choix et le paysan imitateur qui lui adopte un comportement passif en utilisant ce qui réussit le mieux dans son entourage. Ce modèle, issue d'une réalité de terrain discutée lors d'un JdR, met en exergue des dynamiques liées à seulement deux comportements caricaturaux de paysans. Même si le modèle DIVA ne représente pas la réalité observée sur le terrain, il a une grande portée éducative. En effet, en basant la simulation sur très peu de paramètres capables d'être étalonnés de façons différentes (ratio de paysans passifs/actifs), il permet de faire discuter un groupe (étudiants, paysans, chercheurs, etc.) sur l'impact en termes de dynamique de la diversité variétale de cette répartition de stratégies au sein d'un village. Malgré sa définition de SMA théorique, DIVA offre une grande possibilité de dialogue autour des simulations quel que soit le groupe d'acteurs en présence. La souplesse permise par les SMA pour faire varier le curseur dur un ratio actifs/passifs particuliers permet de se rapprocher d'une situation réelle de village alors que sa construction reste très théorique (Figure 18).

[116] http://cormas.cirad.fr/

	% des stratégies dans les scénarios										
N° des scénarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Active d'évaluation	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Passive d'imitation	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0



Scénario 1 : Toutes les variétés se maintiennent et aucune d'entre elles ne semble dominer les autres.

Scénario 11 : Seules deux variétés se maintiennent dont l'une représente à la fin 80 % de toutes les parcelles. L'équilibre est atteint très rapidement.

Figure 18. Exploration théorique de la dynamique variétale via les simulations à partir du modèle DIVA selon le comportement actif/passif des paysans dans leur recherche/adoption de variétés.

Entre 2005 et 2007, l'encadrement du Post-doctorat de Géraldine Abrami nous a permis d'envisager une nouvelle structure du modèle basée sur le découpage du SMA en modules indépendants afin de pouvoir les considérer et les jouer de façon séparée avec les acteurs du système semencier sous forme de JdR avec des objectifs bien circonscrits. La vision générale du système est alors restreinte aux seuls modélisateurs capables d'agencer les différents modules dans le nouveau modèle dénommé DIVA-Modules (Abrami[117] *et al.*, 2007). Cette étape a aussi servi à travailler progressivement sur l'abstraction pour prendre de la distance avec le terrain.

Durant les années 2008 et 2009, le recrutement au sein du projet ANR-IMAS de Mahamadou Belem en Post-doctorat a permis de poursuivre le travail engagé au Mali afin de travailler plus en profondeur la généricité du modèle. Le projet IMAS porte sur la définition et mise en œuvre de modes de gestion adaptés à la préservation dynamique *in situ* des ressources génétiques face aux changements globaux. Il vise à identifier de nouvelles formes de gestion de la diversité variétale basée sur l'interaction à différentes échelles des systèmes semenciers paysans, marchands et institutionnels. Il s'appuie pour cela sur deux situations contrastées : i- d'une part, la conservation *in situ* de la diversité des céréales traditionnelles (mil et sorgho) au Mali ; ii- et, d'autre part, la relance de la culture

[117] Abrami G., Bazile D., Dionnet M., Dembélé S., Le Page C., Coulibaly H. 2007. Accompanying farmers in the building of collective rules for agrobiodiversity management. In : *Environmental and rural sustainability through ICT : 6th Conference of the European Federation for Information in Agriculture, Food and Environment (EFITA 2007) and 4rd World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources (WCCA), Scotland, 2-5*. s.l. : s.n., 6 p. European Federation for Information in Agriculture, Food and Environment. 6, 2007-07-02/2007-07-05, Scotland , Royaume-Uni.

du quinoa au Chili en relation avec l'existence de collections *ex situ* et l'accès à ces collections. La méthodologie s'appuie sur la co-construction d'outils innovants, les modèles multi-agents, capables d'intégrer les points de vue des différents acteurs puis de simuler les aspects dynamiques de la gestion de la biodiversité pour analyser les impacts des évolutions futures.

La démarche repose sur une modélisation participative à dire d'experts, dans le sens où il s'agit d'une co-construction avec les chercheurs de nombreuses disciplines (Figure 17), de mécanismes favorables à la préservation, au maintien et à l'utilisation de la diversité variétale. A l'issue de ce processus itératif avec mise en commun des points de vue disciplinaires, nous disposons d'un modèle conceptuel générique partagé des systèmes semenciers qui constitue une vision globale abstraite de la gestion de l'agrobiodiversité. La conceptualisation et le développement de tels modèles de systèmes semenciers nécessitent une coordination scientifique par l'aval basée sur l'animation d'ateliers où sont associés, pour dialoguer et débattre des choix de modélisations, les chercheurs des différentes disciplines impliquées. Les modèles développés font ensuite l'objet d'une validation participative et d'une calibration avec des agriculteurs, puis ils sont utilisés pour l'exploration de scénarios au travers de jeux de rôles spécifiques pour répondre à des questions particulières à traiter en atelier multi-acteurs (Figure 19).

Figure 19. Jeux de Rôle lors des ateliers finaux du projet IMAS au Chili (à gauche) et au Mali (à droite)

Dans le cadre du projet IMAS, les méthodes de recherche utilisées au sein de chaque discipline sont celles a) de l'analyse de la diversité génétique des plantes b) de l'économie institutionnelle et de l'économie des filières, c) de la socio anthropologie, d) de l'agronomie système et de la géographie et, e) de la modélisation des systèmes complexes associée aux démarches participatives et à la recherche-action.

Les travaux de terrain sont structurés aux trois échelles du système : l'étude de la diversité génétique (du champ au village ou à la région), l'étude de la diversité des systèmes agraires pour appréhender la diversité des stratégies paysannes (de la parcelle à l'exploitation

agricole, et à la région) et l'étude régionale et/ou nationale des régulations sociales, économiques et politiques (du marché local au global). Les travaux conduits à chaque échelle du système sont pluridisciplinaires. De plus, les échelles d'analyse se chevauchent pour répondre aux questions posées à chaque niveau.

Afin de prendre en compte l'ensemble des points de vue sur ce système complexe, la démarche a d'abord consisté à produire une Modélisation Conceptuelle avec la production du Modèle IMAS. Les représentations disciplinaires, par terrain géographique, exposées lors des réunions annuelles du projet IMAS et les synthèses pluridisciplinaires conduites lors des ateliers par pays (Mali et Chili) ont servies de base à la mise en forme d'une ontologie du système semencier ou modèle conceptuel IMAS. Ce modèle générique peut alors servir de cadre général pour développer des applications par pays pour porter des simulations.

A partir de ce modèle conceptuel générique des systèmes semenciers (IMAS), un modèle de simulation SIMAS a été implémenté sur la plateforme de modélisation MIMOSA[118]. Durant cette phase, le modélisateur a alors dû travailler en étroite collaboration avec tous les thématiciens (représentant chacun une discipline et donc d'un point de vue particulier sur le système) pour représenter dans le modèle les dynamiques relatives aux différents scénarios élaborés avec les acteurs du système (paysans et organisations paysannes). Cette relation aux thématiciens portait alors tant sur le processus de simulation en lui-même, à savoir quelles variables doivent être mobilisées pour représenter le déroulement du scénario lors d'une simulation et quels indicateurs en sortie du modèle permettront d'évaluer l'impact des scénarios sur la dynamique des variétés.

- **Un lien permanent des SMA avec les différents JdR successifs pour affiner nos représentations du système et les tester in vivo**

Le jeu de rôle correspond à la mise en scène d'une situation complexe dans un espace contrôlé. Le jeu est construit comme un modèle, ou archétype de la réalité, ce qui permet de prendre de la distance avec le monde réel. Il sert de médiateur avec une réalité parfois difficile à formuler pour un paysan lors des enquêtes et dans ce cas, l'aspect ludique du jeu favorise les échanges d'information.

Les jeux de rôles représentent toujours une certaine part de la réalité quel que soit le niveau d'abstraction retenu. C'est pourquoi afin de faciliter l'appropriation par les paysans de l'environnement virtuel proposé, nous y avons inclus des éléments de contexte du monde réel : structure de l'exploitation agricole, famille, surface, appellations locales, etc. On parle alors de réalité explicite : le jeu offre une représentation réaliste des acteurs, des ressources et des configurations spatiales rencontrées par les paysans dans la réalité. Le

[118] http://lil.univ-littoral.fr/Mimosa/

paysan joue son exploitation avec les caractéristiques qu'il lui connaît : surface cultivée, équipement, population active, bouches à nourrir, cultures, etc.

Un atelier de jeu s'organise en 3 temps : présentation des objectifs, du matériel et des règles du jeu aux paysans; séance de jeu proprement dite animée par un intervenant familier des joueurs; analyse collective de la séance de jeu. C'est durant cette dernière phase que les joueurs sont amenés à critiquer notre représentation du système. Le support du jeu facilite la concertation entre acteurs car il y a eu auparavant mise en commun et confrontation de nos représentations. De plus, l'espace du jeu met une certaine distance avec leur exploitation agricole de référence ce qui permet aux paysans de parler plus librement de leurs actions dans le jeu en expliquant bien le processus de prise de décision. L'étape d'analyse du jeu est un moment fort où il est possible de procéder à un changement d'échelle entre la décision individuelle et la décision collective.

Les trois premiers jeux de rôles mis en place au Mali répondaient à un objectif initial principal, celui d'améliorer notre connaissance [ou représentation du système] en la partageant pour la remettre sans cesse en question. Ils ont été construits sur la base des résultats et hypothèses issus des enquêtes et des ateliers successifs de JdR (tab. III):

– le Jeu 1 visait à restituer les déterminants du choix et du changement de variétés en mettant les paysans en situation dans des exploitations virtuelles soumises à des contraintes climatiques accentuées. Il a permis d'identifier des stratégies archétypales d'association de variétés, mais aussi un manque de connaissances sur l'influence des systèmes de cultures et des rotations, ainsi que sur les différentes modalités d'approvisionnement en semences. Dans ce jeu intitulé *Ci Sukantini,* une représentation très réaliste de l'exploitation agricole et des actions à réaliser par le paysan permettait de facilement faire la connexion entre le système de production et les systèmes d'échanges de semences. La réutilisation de ce jeu dans les sessions liées à l'explicitation de DIVA-mod mettant en scène des paysans et des vulgarisateurs agricoles s'est fait en se focalisant à chaque fois sur certaines questions particulières. Pour réussir ce passage correspondant à une montée progressive en généricité, une modification dans le choix des participants a été opérée. Le rôle de paysans dans le JdR a été confié à des leaders paysans pouvant être capable de prendre la place de différents statuts de paysans (selon notre typologie) afin de rendre compte de différents comportements et/ou stratégies.

– le Jeu 2 s'est intéressé spécifiquement aux systèmes de cultures et aux rotations. Il nous a permis de simplifier la représentation des contraintes agroclimatiques pesant sur les exploitations. Dans ce JdR2, l'accent a été mis sur la décision individuelle dans les systèmes de production et la place du contexte dans les décisions touchant aux systèmes de cultures : assolements, rotations, étalement des dates de semis, etc.

– le Jeu 3 s'est intéressé aux contraintes spatiales et sociales pesant sur la recherche de semences. Il a permis d'identifier différents types de fournisseurs correspondant à des modes et cheminement de recherche spécifiques. La matérialisation des échanges de semences d'un portefeuille de variétés entre demandeurs et fournisseurs a permis de rendre

de compte des différentes périodes de l'année où certains échanges sont possibles et d'autres pas. L'analyse précise des échanges en termes de ressources biologiques transmises entre individus et information associée, fournie ou pas, nous informe sur la circulation des informations (physique et connaissances), sur la hiérarchie des fournisseurs, et sur la manière dont ces éléments conditionnent des circuits de recherche de semences particuliers.

Tableau III : Caractéristiques des jeux de rôle associés aux différentes étapes de l'élaboration du modèle DIVA-modules

Jeux de rôles	J1 Système de production	J2 Système de culture	J3 Fournisseurs de semences
Question posée	Assurer la sécurité alimentaire de la famille	Définir l'assolement de l'exploitation en respectant la succession des cultures	S'adapter au changement climatique en renouvelant, si nécessaire, ses variétés
Objectif général	Analyser les comportements de gestion des variétés de sorgho selon les types d'exploitations	Comprendre le choix des variétés de mils et de sorghos dans le temps et l'espace	Caractériser les modalités d'accès aux semences en fonction des fournisseurs
Joueurs	12 joueurs (diversité des systèmes de production, liens familiaux) Exploitation identique à la leur.	15 joueurs (3 tailles d'exploitations sur 3 sols contrastés) Exploitation « modèle » correspondant à la taille de la leur et sur un seul sol.	10 joueurs (diversité des types de systèmes de production, liens familiaux) 3 rôles: chef de village, organisation paysanne et détenteur des savoirs traditionnels. Les joueurs jouent leur rôle et leur exploitation.
Espace	Tables pour les groupes familiaux. Maquette du village comme espace collectif.	3 tables pour chaque groupe de 5 exploitations cultivant sur un même sol	2 tables réunissant sur un même sol 5 exploitations. 1 table pour les types de fournisseurs extérieurs au village. Chaises en cercles pour chaque groupe familial.
Déroulement du temps	Année agricole découpée en 3 pas de temps : annonce de la saison climatique, récolte et sélection des semences, saison sèche	Pas de temps annuel avec annonce de l'année climatique	Année agricole scindée en 4 pas de temps : annonce de la saison climatique, récolte et sélection des semences, échanges familiaux, saison sèche. Carte d'évènements
Date réalisation	Juin 2005	Décembre 2005	Décembre 2005

La démarche itérative de modélisation d'accompagnement est hautement participative, c'est pourquoi elle est gourmande en temps car elle nécessite des allers retours constants entre terrain et modèle. Nous pouvons présenter très brièvement ici les autres étapes de jeux de rôles mobilisés au cours du processus de modélisation :

– le Jeu 4 a été construit pour associer les paysans à notre représentation globale du système semencier. Pour cela, différents groupes de 3-4 paysans (hommes et femmes mélangés) issus de différents villages devaient confronter leur façon de voir les choses pour construire des schémas de fonctionnement du système semencier. L'utilisation de la

méthodologie des *playable stories*[119] (Becu, 2006[120]) a été mobilisée afin de les aider à identifier les différentes actions à retenir depuis la disponibilité de semences de la variété souhaitée pour les semis, en passant par toutes les opérations culturales nécessaires pour produire du grain, le récolter et renouveler son stock de semences.

– le Jeu 5 a consisté à faire réfléchir les paysans sur les différents types variétaux qu'ils mettaient ensembles dans les associations variétales qu'ils composaient. Cette réflexion sur les stratégies d'association de variétés était alors doublée de l'élaboration de matrices de gains. Le JdR5 avait alors une double fonction de calibrage pour construire les abaques de production de nos modèles SMA et de formation pour tester avec les paysans les combinaisons possibles de types variétaux dans les associations de variétés.

– le Jeu 6 entrait ensuite dans le détail des systèmes de cultures selon les systèmes de production existants dans chaque zone agroécologiques. L'utilisation d'une frise temporelle nous permettait alors de mesurer le poids des contraintes de main-d'œuvre et d'équipement pour réaliser en temps voulu les différentes opérations culturales nécessaires à la réussite des variétés choisies par le paysan dans une zone géographique donnée.

– le Jeu 7 a été construit de façon très abstraite de façon à réunir et faire échanger des paysans et responsables d'ONG venant du Mali et du Niger. Ce jeu intitulé SEED-Div (pour diversité des semences) repose sur la gestion collective du patrimoine constitué de différents lots de semences à l'échelle d'un village. Il a servi de base pour réaliser une prospective sur de nouvelles institutions locales capable de conserver la biodiversité agricole en travaillant les objectifs de celles-ci (conservation, multiplication de semences, etc.) pour définir leurs règles de fonctionnement de façon à les atteindre. Ici, le JdR est co-construit avec les paysans où il est possible de revoir les règles pour reprendre le jeu. Cette expérience réussie, le jeu SEED-Div a alors été réutilisé comme outil générique dans des formations d'étudiants et de chercheurs en France et à l'étranger pour discuter de la mise en place d'institutions chargées de la conservation de la biodiversité.

– les Jeux de rôles 8, 9 et 10 ont été construits durant le projet IMAS (mars 2010/Mali ; Juin 2010/Chili ; Sept. 2010/Mali) pour consolider notre connaissance sur des points précis : travailler de façon participative l'élaboration des scénarios de simulation, valider avec

[119] La méthodologie des *playable stories* comprend deux étapes distinctes. Durant la première étape, l'agriculteur doit choisir parmi différentes cartes disposées sur un panneau (objets, concepts, etc) celles qui lui semblent être les plus importantes, en tant qu'agriculteur vivant dans son village pour prendre une décision liée à la production agricole. Puis, nous mettons l'agriculteur en situation en lui racontant une histoire retraçant la vie dans le village et l'évolution de son environnement social et naturel au cours de l'année. Au cours de cette histoire, l'agriculteur doit nous décrire les activités qu'il réalise en réponse aux diverses situations climatiques, socioéconomiques et agronomiques portées par notre histoire.

[120] Becu N. 2006. Identification et modélisation des représentations des acteurs locaux pour la gestion des bassins versants. Thèse de Doctorat, Montpellier 2, 344 pages.

différents acteurs la robustesse du modèle conceptuel, puis celle du modèle de simulation. Ces JdR rassemblaient des groupes restreints de leaders paysans capables d'extrapoler à la situation générale de leur village, puis de l'étendre à une vision régionale.

– le Jeu 11 (mars 2011) avait pour objectif la validation de la généricité et de la robustesse du modèle pour aborder diverses situations de simulation rendant compte de situations agraires contrastées au Mali.

– le Jeu 12 (septembre 2011) a permis à un groupe de chercheurs français, maliens et chiliens issus de disciplines diverses de « rentrer » dans le système étudié par le JdR en occupant chacun la place d'un type d'agriculteur particulier. Cette étape a servi à la fois de test pour ce JdR qui sera joué ensuite au Mali afin de corriger ses défauts de « jouabilité » et mais aussi de connaissance en profondeur du support de JdR qui servira à l'animation de groupes d'agriculteurs, d'organisations paysannes et de membres d'ONG par ces mêmes chercheurs lors des ateliers finaux de projet.

– le Jeu 13 (décembre 2011, Chili) utilisé lors de l'atelier final du projet au Chili a permis de mettre en situation des paysans originaires de trois régions géographiques représentant des systèmes agraires très différents : zone de l'altiplano (4000m d'altitude) au Nord avec des communautés Aymaras pratiquant une intégration agriculture-élevage (Lamas/Alpagas-quinoa), région du *Secano costero* dans la zone centrale du Chili avec des paysans souvent non propriétaires de leurs terres cultivant des surfaces réduites (0,5 à 3ha de quinoa en moyenne pour une SAU<10ha) et la région de l'Araucanie au Sud du Chili avec des communautés Mapuche dans lesquelles les femmes ont maintenu la culture du quinoa dans les jardins-potagers. L'usage d'un JdR générique lors des ateliers finaux a permis de partager notre représentation du système (forme de restitution de projet) tout en permettant à chacun des groupes en présence de l'intégrer en la pratiquant via le JdR. Cette étape de partage de notre compréhension du système étudié était nécessaire pour passer ensuite plus facilement à l'utilisation du JdR pour simuler les scénarios co-construits autour de l'action collective et l'organisation des producteurs pour la gestion de la production de quinoa. Cette compréhension préalable des autres régions permettait d'enrichir les discussions et de développer des comparaisons entre régions qui n'auraient pas été possibles sinon afin de réaliser que les problèmes rencontrés pouvaient être les mêmes ou alors que des alternatives à leurs pratiques existaient ailleurs et pouvaient apporter des solutions aux difficultés qu'ils rencontraient (Bazile et al, 2012).

– le Jeu 14 correspond au JdR final du Mali (janvier 2012). Tout comme dans le cas précédent, son utilisation dans les ateliers finaux a eu pour objectif principal de partager largement avec les acteurs impliqués dans le processus participatif de modélisation le résultat de nos recherches, ici notre représentation globale des systèmes semenciers et leurs interactions. Le JdR là encore a permis de simuler des scénarios basés sur l'impact du changement climatique sur la dynamique variétale du sorgho et le poids des différentes politiques publiques d'appui aux agriculteurs pour le développement rural au sens large ou plus ciblées sur la promotion de certains types variétaux. Ces mêmes scénarios discutés

avec comme support le JdR ont été revisités via le modèle SIMAS sur un pas de temps plus long (10-20 ans au lieu de seulement 3 années dans le JdR). La discussion ouverte sur les sorties issues des simulations informatiques permettait de revenir sur les effets de politiques publiques mais aussi sur la manière dont s'en emparent les agriculteurs.

- ***Une montée en généricité dans les SMA permise par les JdR***

Les Systèmes Multi Agents (SMA) sont issus du domaine de l'intelligence artificielle distribuée qui cherche à résoudre les problèmes par la coordination d'agents hétérogènes indépendants. Un agent se définit comme « *un système informatique situé dans un environnement et capable d'actions autonomes dans le but d'atteindre ses objectifs* » (Wooldridge[121], 1999). L'environnement est constitué des objets et ressources accessibles aux entités et peut prendre la forme d'une grille spatiale. Les agents perçoivent leur environnement, les autres agents s'en construisent des représentations. Utilisant des capacités de raisonnement plus ou moins évoluées, ils agissent alors en modifiant l'environnement ou en communiquant avec les autres agents. Les SMA sont adéquats pour la simulation de formes de coordination observables sur le terrain. Ils peuvent être utilisés dans des applications diverses mais ils sont particulièrement utiles dans le domaine de la gestion des ressources renouvelables, car bien adaptés à l'étude de problèmes intégrant des dynamiques naturelles et sociales (Bousquet et Le Page[122], 2004).

La modélisation multi-agents permet de simuler les changements de règles de gestion et de comprendre les effets superposés des stratégies individuelles et des règles collectives. C'est dans ce cadre que nous avons utilisé les modèles comme outils de médiation et de partage de la connaissance pouvant servir de support au questionnement. L'objectif étant de réfléchir à des techniques, règles ou attitudes favorables au maintien de la diversité génétique *in situ* et notamment de déterminer l'échelle la plus adéquate pour définir des règles relatives à la conservation *in situ* des variétés de céréales.

La formalisation du système semencier dans des systèmes multi-agents s'est construite selon une démarche itérative où enquêtes et jeux de rôles alternent avec les phases de construction des modèles (Tableau IV). Le passage du monde observé au modèle conceptuel suit des boucles et trois modèles multi-agents ont ainsi été produits entre 2002 et 2007 en association étroite avec les acteurs locaux:

– un premier modèle « expert », et réaliste, synthétisait l'ensemble des hypothèses issues du travail d'enquête mais il était trop complexe pour envisager une restitution directe aux paysans. Ce modèle a permis d'identifier nos lacunes à la base du travail d'enquête complémentaire ayant mené au Jeu 1 ;

– un second modèle abstrait formalisant les comportements des joueurs lors du Jeu 1. Ce modèle DIVA a une portée exclusivement théorique : il a permis d'explorer par la

[121] Wooldridge, M., 1999. Intelligent Agents. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. *In*: G. Weiss (Editor), *Multi-agents systems*. MIT Press, USA, pp. 27-77.

[122] Bousquet, F. et Le Page, C., 2004. Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. *Ecological Modelling*, 176: 313-332.

simulation le déroulement d'archétypes de comportements sur un pas de temps long afin de renforcer nos hypothèses et de dialoguer avec les acteurs;

– un troisième modèle à portée générique (DIVA-modules) en reprenant dans des modules indépendants chacune des modalités de prise de décision identifiées au cours des séries d'ateliers de jeux. Chacun des modules a été validé et paramétré par les paysans. Il s'agissait alors de ré-agréger ces modules pour simuler des règles émergentes.

Tableau IV : Caractérisation du niveau de réalisme, des paramètres utilisés et des dynamiques d'évolution pour les entités naturelles dans chacun des 3 modèles produits

	Modèle EXPERT	Modèle DIVA	Modèle à 3 MODULES
CLIMAT			
Paramètres	Ø	Facteur d'impact sur le rendement (entre 0 et 1)	Date d'arrivée des pluies Cumul de précipitation
Dynamiques	Ø	Généré aléatoirement	Lecture de séries climatiques
Données	Ø	Ø	Séries climatiques historiques Appréciation année paramétrée par les utilisateurs
CULTURE			
Paramètres	Type de culture (coton / maïs /sorgho / mil / autres / jachère) Parcelle (surface, localisation)	1 seule culture : le sorgho	Type de culture (coton / maïs /sorgho / mil / autre) Surface dans l'exploitation
VARIETE			
Paramètres	Nom des variétés de la région Probabilité initiale de présence	5 variétés abstraites Rendement maximal 4 caractéristiques abstraites	Cycle: précoce, moyen, tardif Nom de 3 variétés par type
Dynamiques	Ø	Rendement selon climat	Matrice de gain f(type/climat)
Données	Statistiques issues des enquêtes*	Génération aléatoire des caractéristiques Fonction théorique d'impact du climat	Caractérisation qualitative de l'écologie des variétés de sorgho

*Les statistiques utilisées dans le modèle expert sont basées sur 3 zones géographiques : San, Koutiala et Sikasso

Tableau V : Caractérisation du niveau de réalisme, des paramètres utilisés et des dynamiques d'évolution pour les entités sociales et spatiales dans chacun des 3 modèles produits

	Modèle Expert	Diva	Modèle à 3 Modules
TERRITOIRE			
Paramètres	Texture, Pente et Profondeur des sols	Territoire uniforme	2 types de sol
Dynamiques	Priorité de défriche	Ø	Priorité de défriche
Données	Statistiques issues des enquêtes*	Ø	Paramétrage par les utilisateurs
EXPLOITATION			
Paramètres	Nombre de champs (1 à 3) Taille des champs (4 à 13 ha) Voisinage (distance seuil) Groupe Familial (3 à 5)	Nombre de parcelles (5) Voisinage (territoire entier) Groupe Familial (3 à 5 exploitations)	Taille de l'exploitation (G/P) Niveau d'équipement Voisinage (distance seuil) Groupe Familial (3 à 5)
Dynamiques	Assolement, rotations	Rendement moyen	Attribution des stratégies
Données	Statistiques issues d'enquêtes*	Fonctions théoriques	Paramétrage par les utilisateurs
AGRICULTEUR			
Paramètres	Nombre de variétés (1 à 3) Mode d'essai (direct, échantillon, progressif) Choix initial des variétés	4 préférences pour chacune des caractéristiques des variétés Facteur d'impact des préférences Stratégie de remplacement (actif ou passif) Stratégie de recherche (idéotype	Stratégie d'association de variétés Système de culture Stratégie de recherche de variété Nombre de variétés Base de connaissance variétés
Dynamiques	Essai d'une nouvelle variété tous les 10 ans avec 75% de chance de réussite Recherche de variétés dans le voisinage et/ou le Groupe Familial	Calcul de la satisfaction (préférences et rendements) Recherche d'une variété selon ses caractéristiques et /ou son poids (taux de présence et proximité)	Calcul d'un assolement selon climat et stratégies Recherche de variété dans le voisinage et/ou le Groupe Familial selon stratégie de recherche de variété
Données	Statistiques issues des enquêtes*	Fonctions théoriques caractérisant des types de stratégies observées	Caractérisation qualitative de stratégies observées

*Les statistiques utilisées dans le modèle expert sont basées sur 3 zones géographiques : San, Koutiala et Sikasso

D'un modèle expert très réaliste, les modèles suivants ont gagné en abstraction, au fur et à mesure que le travail, réalisé avec les paysans lors des ateliers du jeu, amenait à affiner les hypothèses et à réduire les variables de description du système (tab. IV et V) à celles les plus pertinentes pour expliquer la dynamique variétale. Lors de l'atelier de présentation du 3ème modèle, cette montée en abstraction a permis aux paysans de se détacher complètement de la réalité de leur propre rôle pour s'interroger sur le processus de prise de décision et la diversité des pratiques de gestion pour l'émergence d'une biodiversité, considéré comme un bien commun. On était alors dans le cas d'une réalité implicite : le

modèle est basé sur une simplification réaliste des catégories d'acteurs, des ressources et des configurations spatiales rencontrées dans la réalité, dont la seule contrainte est d'être reconnue légitime par les joueurs.

2.2.4 Avancer en généricité avec IMAS

L'étape suivante avec le développement des modèles IMAS / SIMAS est le prolongement de ce travail amont pour avancer vers toujours plus de généricité. Par l'étude de trois plantes dans deux pays contrastés, l'objectif général du projet IMAS est de contribuer à la valorisation et au maintien de l'agrobiodiversité dans les pays du Sud. L'objectif spécifique du projet est de développer un modèle générique de représentation des systèmes semenciers dans les agricultures dites traditionnelles des pays du Sud, pouvant être utilisé pour simuler des scénarios sur le devenir de la diversité *in situ* (augmentation, maintien, érosion) et faire réfléchir les différents acteurs à leur rôle dans ces scénarios. La construction et le calibrage du modèle s'appuient sur l'étude de systèmes semenciers reflétant des situations contrastées. Ces dernières doivent renforcer l'aspect générique du modèle.

- ***Des terrains contrastés***

Ont ainsi été étudiées :

i- d'une part, la situation ouest africaine où la production à la ferme des semences de céréales traditionnelles (mil et sorgho) assure le maintien de la diversité *in situ* des variétés locales dans un contexte d'agriculture globalement vivrière. Ce terrain se caractérise par un approvisionnement en semences à 90% à partir d'une autoproduction à la ferme, une forte résilience du système (y compris une certaine stabilité variétale) mais une accélération récente des entrées extérieures (variétés améliorées issues de la recherche classique ou participative) et aucune reconnaissance par le marché de la diversité cultivée. Cette situation correspond sur le plan théorique à un modèle d'agriculture traditionnelle centrée sur l'autoconsommation avec le maintien *in situ* de la diversité variétale par les communautés paysannes avec un faible recours à l'Etat.

ii- et, d'autre part, une situation de culture (à haute diversité génétique), le quinoa, mais en voie d'extinction au Chili alors que le marché international est fortement demandeur. La situation du quinoa au Chili représente au plan théorique cette situation extrême d'une culture sous dépendance interne (nationale) de la conservation *ex situ* pour la conservation de la diversité génétique existante. La demande croissante du marché local et international, constitue une incitation à la production qui est supposée permettre d'inverser la tendance d'érosion de la diversité génétique du quinoa par abandon forcé de la culture de façon importante au moment de la colonisation espagnole, puis par les politiques publiques dites de « modernisation agricole » au cours des cinquante dernières années.

La construction du modèle intègre les différents facteurs biologiques et sociaux influant sur la gestion de la diversité intra spécifique (variétale) gérée par les agriculteurs. Les facteurs agronomiques, génétiques, sociologiques, économiques sont considérés, de même que la question du droit des communautés à accéder à la diversité et à l'utiliser dans une perspective de complémentarité des modes de conservation *in situ* et *ex situ*.

- ***Des objectifs étendus***

Les objectifs spécifiques au projet IMAS pour permettre le développement des modèles IMAS et SIMAS sont les suivants:

1. Caractériser le rôle des pratiques agricoles dans la structuration de la diversité génétique des variétés locales et améliorées aux différentes échelles.

2. Analyser l'agrobiodiversité comme facteur de stabilité des productions agricoles y compris par l'insertion des exploitations agricoles dans les marchés et les réseaux;

3. Comprendre les mécanismes et stratégies de prise de décision du paysan dans les régions agricoles au regard des normes et incitations aux différentes échelles ;

4. Comprendre comment sont créés et diffusées les semences et quelles sont les contraintes liées aux droits de propriétés intellectuels ;

5. Modéliser les systèmes semenciers et partager cette représentation avec les différents acteurs et disciplines;

6. Utiliser les modèles multi-agents pour tester des scénarios d'évolution de la diversité variétale.

- ***Une succession d'ateliers entre chercheurs pour une théorisation plus poussée***

La mise en œuvre du projet repose sur l'animation scientifique interdisciplinaire et a été rythmée par des séminaires annuels orientés vers la co-construction du modèle. Un groupe d'experts associés est venu régulièrement enrichir la réflexion interne lors des journées scientifiques annuelles à thème (Multi-agents, Conservation *in situ*, Droits de Propriété Intellectuelle).

Année 1 : première boucle de modélisation pour définir la structure générale du modèle

1- partage entre chercheurs des fondamentaux de chaque discipline et de la modélisation d'accompagnement. Définition d'un langage commun via le formalisme UML pour permettre à chaque discipline d'interférer sur le développement du modèle;

2- définition d'un cadre initial commun pour représenter le système semencier à étudier : mobilisation des données disponibles et caractérisation des besoins;

3- formalisation de la représentation commune initiale du système semencier dans un premier JdR à tester avec l'ensemble des disciplines du projet;

4- identification des lacunes tant sur le plan de la définition de l'environnement initial (acteurs et ressources) que sur le plan de la dynamique (comportements et stratégies des acteurs)

Année 2 : seconde boucle de modélisation pour préciser les indicateurs pertinents pour valider dans chaque discipline les sorties du modèle et définir des scénarios à tester

1- consensus dans la représentation du système entre disciplines : objets, échelles spatiales et temporelles, éléments de la dynamique du système;

2- implémentation du comportement des acteurs, caractérisation de l'information véhiculée et de l'interrelation entre les groupes d'acteurs ;

3- identification des insuffisances du modèle et première définition des scénarios de gestion

Année 3 : troisième boucle de modélisation pour finaliser les scénarios

1- enquêtes complémentaires pour mieux définir le cadre des scénarios envisagés;

2- séances de JdR spécifiques avec des groupes d'acteurs relatifs aux scénarios à discuter ;

3- formalisation des scénarios dans le modèle multi-agents pour explorer par des simulations leurs impacts sur le système semencier;

Année 4 : quatrième boucle de modélisation pour valider et calibrer le modèle à partir d'une appropriation des scénarios par les acteurs du système semencier

1- définition de cadres conceptuels pour le transfert des scénarios;

2- tests des scénarios envisagés lors de séances de JdR/SMA spécifiques avec des groupes d'acteurs représentatifs de la complexité du système semencier;

3- formalisation des scénarios dans le modèle multi-agents et définition des recommandations pour la mise en œuvre de nouvelles formes de gestion de la diversité variétale à partir des sorties du modèle.

L'objectif final du processus mis en place dans IMAS est d'aider à la décision collective d'une part pour produire et proposer de nouvelles règles de gestion et, d'autre part pour aider à la négociation et faciliter la concertation en utilisant les simulations comme support de discussion. C'est pourquoi nous parlons de modélisation d'accompagnement même si le modèle développé est dans ce cas un modèle expert. La modélisation est participative dans le sens où il s'agit d'une co-construction, avec tous les acteurs impliqués dans la filière semencière, de mécanismes favorables à la préservation de la diversité variétale des céréales ouest africaines et du quinoa dans les Andes.

Ces acteurs, leurs comportements et leurs multiples interactions constituent le « système semencier » qui s'intéresse à différentes catégories de ressources (les variétés) produites (créées), multipliées, distribuées et parfois conservées. Il s'agit d'un système dynamique constitué par l'ensemble des acteurs qui participent à l'approvisionnement en semence des paysans, en incluant leurs comportements et leurs interactions: production de semences à

la ferme, achat à des producteurs ou intermédiaires privés, fourniture par des agences publiques. En cela, les systèmes semenciers recouvrent une grande diversité de situations. Ainsi, comme le rappelait Pierre-Henri Guyon (Museum National d'Histoire Naturelle) lors d'une conférence donnée à l'Institut des Régions Chaudes de Montpellier en 2012: « *Tant qu'on ne saura pas gérer les semences, on ne saura pas gérer la biodiversité en agriculture*».

Des progrès notables ont été accomplis pour caractériser la biodiversité agricole et la gestion paysanne de cette diversité mais les scientifiques et les décideurs restent très souvent démunis pour la définition et la mise en œuvre de modes de gestion adaptés à la préservation dynamique des ressources génétiques face aux changements globaux. Des approches innovantes doivent donc être proposées, intégrant savoirs scientifiques et locaux.

A l'issue du processus de modélisation dans le cadre du projet IMAS (2008-2012), nous disposons d'un modèle conceptuel (IMAS) pour représenter le système et d'un modèle de simulation informatique (SIMAS), issu d'un processus itératif de partage des connaissances avec les paysans, qui constitue une vision globale abstraite de la gestion de l'agrobiodiversité permettant la simulation de différents scénarios. L'étape suivante est d'utiliser ce modèle comme support pour innover en partenariat et proposer de nouvelles règles de gestion collective capables de maintenir la diversité dans le contexte actuel d'intensification de l'agriculture.

2.3 Le modèle: objet frontière et langage passerelle

« *Je ne peux rien pour qui ne se pose pas de questions*. **»**
[**Confucius**]

«*Les limites de mon langage signifient les limites de mon propre monde*.»
[Ludwig Wittgenstein]

« *Ne vous affligez pas de ce que les hommes ne vous connaissent pas ;*
affligez-vous de ne pas connaître les hommes.**»**
[**Confucius**]

Les systèmes multi agents (SMA) peuvent prendre plusieurs formes car ils sont à la fois les modèles informatiques et les jeux de rôles qui sont mobilisés lors d'une démarche de modélisation d'accompagnement. Modèles et jeux participent alors de la même construction d'une vision partagée du monde en créant un pont entre le réel et l'observé.

2.3.1 Le modèle, une construction permanente

A partir du diagnostic initial issu de la problématique liée à la thématique de la dynamique de la biodiversité agricole, les modèles (et jeux) se construisent sur la base de la confrontation des points de vue entre acteurs. Chacun d'eux vient avec une connaissance propre, locale ou scientifique, nécessairement partielle sur le système dans son ensemble. La confrontation des points de vue repose alors autant sur les savoirs que sur la représentation que chaque acteur a de ses connaissances.

L'explicitation des connaissances et savoirs dans une représentation à partager avec tous les acteurs du système fait partie intégrante du processus de construction collective du modèle. L'intégration de nouvelles connaissances au modèle à chaque étape de la modélisation caractérise le caractère itératif de la démarche. Aucun acteur ne porte à lui seul une vision complète sur le système. Aucun acteur ne détient une représentation supérieure à celle des autres. Le dialogue autour des représentations individuelles des acteurs sur le système facilite la confrontation des points de vue pour faire émerger, le cas échéant, une représentation partagée de celui-ci. Le recours aux simulations participatives permet de mettre en situation les représentations des uns et des autres pour en débattre afin de les valider, les réfuter et, avancer vers une représentation capable de considérer la multiplicité des points de vue sur un même objet, le système semencier. Ces simulations participatives confirment les entités à mobiliser dans la conceptualisation du système et la caractérisation des dynamiques à considérer. Mais au-delà de cette formalisation qui se construit pas à pas, le modèle devient langage commun et passerelle entre les acteurs et les points de vue qu'ils portent. Le modèle est un produit de la modélisation sans que la

question du modèle n'ait réellement à être posée de façon explicite. En effet, les phases de *debriefing* après les simulations participatives (SMA et JdR) sont primordiales pour le groupe car c'est là que se construit la représentation partagée du système semencier qui alimente la construction et l'évolution du modèle à chaque étape de la modélisation. Ce temps d'échange oriente les actions futures et dessine les changements de pratiques ultérieurs, tant au niveau individuel qu'au niveau de nouvelles règles et institutions qui peuvent émerger au cours du processus d'accompagnement avec la modélisation.

Afin de bien montrer la réalité de cette construction collective de la représentation partagée du système semencier, nous allons reprendre ci-après, sans prétendre être exhaustif, quelques éléments liés à la conceptualisation et aux dynamiques du système acquis aux différentes étapes de cette démarche.

Depuis les enquêtes de terrain…

La pluviométrie du Mali diminue du sud vers le nord si bien que l'agriculture pluviale comporte un risque de sécheresse qui est intégré aux stratégies paysannes. Le sorgho est cultivé du sud du Mali jusqu'à la fin de la bande sahélienne sous environ 500 mm de pluviométrie annuelle. Partout, les agriculteurs ont gardé de multiples races locales qui ont comme caractéristiques communes leur adaptation aux conditions écologiques localisées et le calage de leur cycle végétatif avec le microclimat de la zone géographique (Vaksmann[123] *et al*., 1996).

C'est le photopériodisme qui permet l'ajustement du cycle de la plante à la durée probable de la saison des pluies en permettant une grande souplesse dans les dates de semis des mils et des sorghos. Les semis de sorgho peuvent ainsi être étalés sur une période de deux mois (Bazile *et al*., 2004). La priorité du paysan africain restant la satisfaction des besoins alimentaires de sa famille, il fait évoluer son système de culture tout en maintenant une surface globale de céréales apte à satisfaire cet objectif. Ainsi, la part du maïs, plus productif mais moins résistant à la sécheresse, augmente dans les assolements en progressant vers le Sud du Mali. Dans le nord, les paysans valorisent simultanément la diversité des longueurs de cycles des variétés et la rusticité du sorgho pour gérer le risque climatique. Ils sèment ainsi plusieurs variétés de sorgho chaque année sur des sols différents (Dembelé et Koné[124], 2003).

[123] Vaksmann, M., Traore, S.B. et Niangado, O., 1996. Le photopériodisme des sorghos africains. *Agriculture et Développement*, 9: 13-18.

[124] Dembele, J. et Kone, K., 2003. *Analyse de la place du sorgho dans les stratégies d'allocation du foncier dans l'assolement : cas du village de Kaniko (Koutiala, Mali).* Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université du Mali /FLASH, Bamako (Mali), 47 p.

Les exploitations agricoles se différencient principalement en fonction de leur taille (surface cultivée et main-d'œuvre disponible) et du niveau d'équipement (Criado[125], 2002 ; Patetsos[126], 2003). La combinaison de ces deux facteurs de production fait que l'appréhension du risque diffère entre les types d'exploitations et détermine des stratégies différentes où la diversité variétale n'occupe pas la même place. L'élaboration de référentiels locaux de la culture du sorgho (Bazile *et al*., 2003a) nous a permis de préciser les pratiques paysannes relatives à la culture du sorgho avec notamment les itinéraires techniques culturaux par zone pour aborder la prévision de l'aire de diffusion des variétés locales ou améliorées (Soumaré, 2004). Au-delà d'une connaissance agronomique approfondie du sorgho, des indicateurs sur les systèmes de cultures à base de sorgho ont été développés avec une analyse économique sur le coût d'opportunité du maïs par rapport au sorgho (Bazile et Soumaré, 2003b ; Bazile *et al.,* 2004). Malgré la perception par les agriculteurs de sécheresses, les variétés photopériodiques occupent toujours une place prépondérante dans les systèmes de culture car elles s'adaptent mieux aux conditions aléatoires de culture. A l'opposé, les variétés à cycle court (souvent appelées à tort précoces) sont spécifiques à quelques systèmes de culture au Mali ; elles ne correspondent donc pas à des variétés à large adaptation géographique. Dans les stratégies paysannes, la gestion du risque l'emporte sur les besoins d'intensification. C'est pourquoi dans la connaissance de l'agrobiodiversité, le nombre de variétés gérées au sein de l'exploitation agricole et l'identification de la dynamique de remplacement des variétés constituent un pas pour l'identification des méthodes de conservation de la biodiversité (Bazile et Soumare[127], 2004; Bazile *et al*., 2005c).

… à la formalisation des connaissances acquises : premier prototype de modèle expert

Afin de mettre en relation les nombreux résultats issus des enquêtes, le modèle multi-agents « expert » intitulé « SorghoMali » a été développé pour représenter au sens large l'environnement des paysans (figure 20): les différentes entités du territoire et la structure sociale des paysans. Le modèle introduit certaines stratégies paysannes élaborées à partir de typologies mais la dynamique existante s'appuie uniquement sur des changements de variétés basés sur des valeurs statistiques (Bazile *et al*., 2005 a et b).

---

[125] Criado, A., 2002. *La pénétration du maïs dans les systèmes de cultures céréaliers milsorgho de la zone Mali sud : analyse en terme de coût d'opportunité et impact sur la sécurité alimentaire*. DESS Economie agricole internationale, Université Paris Sud XI, Paris, 109 p.

[126] Patetsos, E., 2003. *Enjeux et perspectives pour les paysans de la zone cotonnière du Mali. Cas de la commune rurale de Sincina*. DESS Développement Agricole, INA Paris-Grignon - IEDES, Paris, 70 p.

[127] Soumare, M., 2004. *Contribution à la prévision de l'aire de diffusion de variétés de sorgho au Mali. Couplage entre Modèle de Croissance des Cultures et Système d'Information Géographique*. DEA Géographie, Université de Nanterre, Paris X, 92 p.

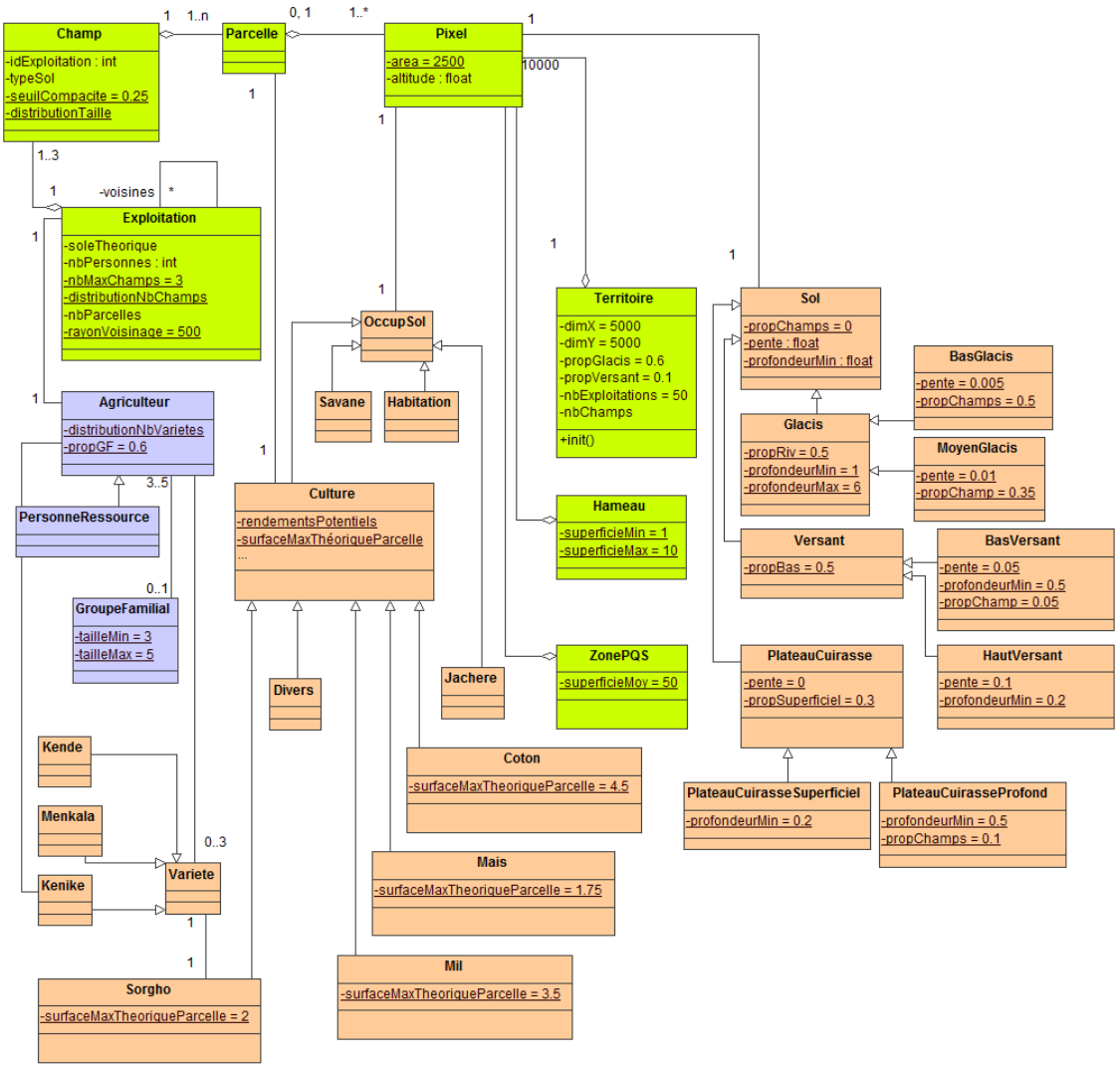


Figure 20. Premier diagramme UML ((de l'anglais *Unified Modeling Language*) du modèle expert Sorgho-Mali

Le modèle expert sert d'intégrateur pour diverses disciplines et permet de préciser les paramètres d'entrée nécessaires (disponibles ou à rechercher) pour caractériser le système semencier. La réflexion autour de l'organisation de ces données a contribué à la création d'un état initial de référence « modulable » qui permet par la suite de paramétrer les spécificités environnementales ou structurelles des exploitations agricoles selon les zones géographiques du Mali. La validation de cet état initial avec les partenaires de la recherche malienne montre que l'abstraction proposée avec l'interface spatiale du modèle est facilement appropriable par des non spécialistes de l'informatique. Le modèle expert est suffisamment proche de la réalité pour que ce lien soit évident (figures 21, 22, 23).

Figure 21. Création d'un paysage artificiel avec représentation des types de sols (à gauche) et des pentes (à droite) dans l'interface graphique du modèle expert Sorgho-Mali

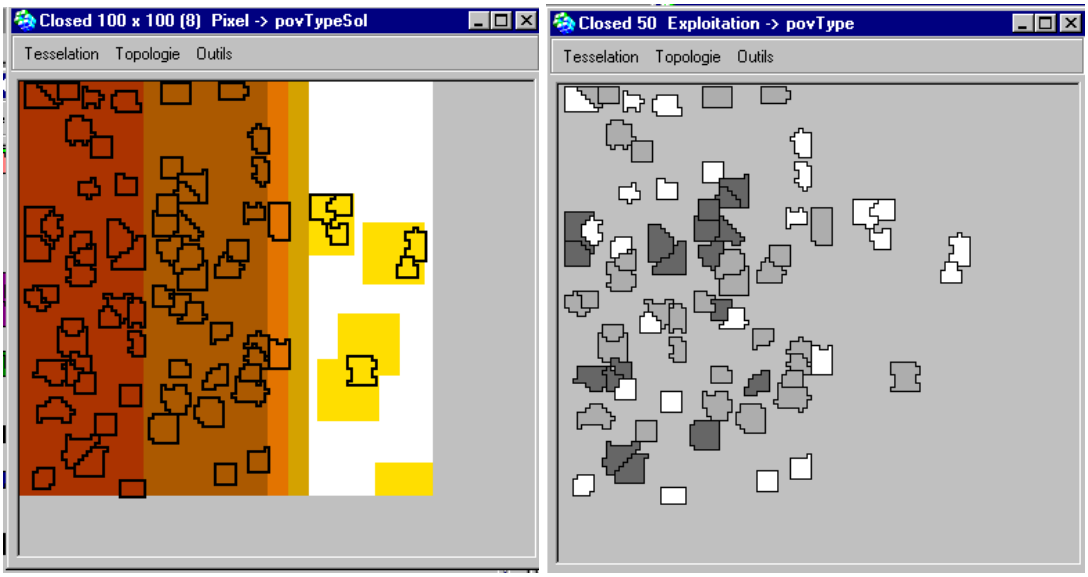


Figure 22. Délimitation du parcellaire au sein du paysage virtuel (à gauche) et agrégation des parcelles par types d'exploitations agricoles (à droite) dans l'interface graphique du modèle expert Sorgho-Mali

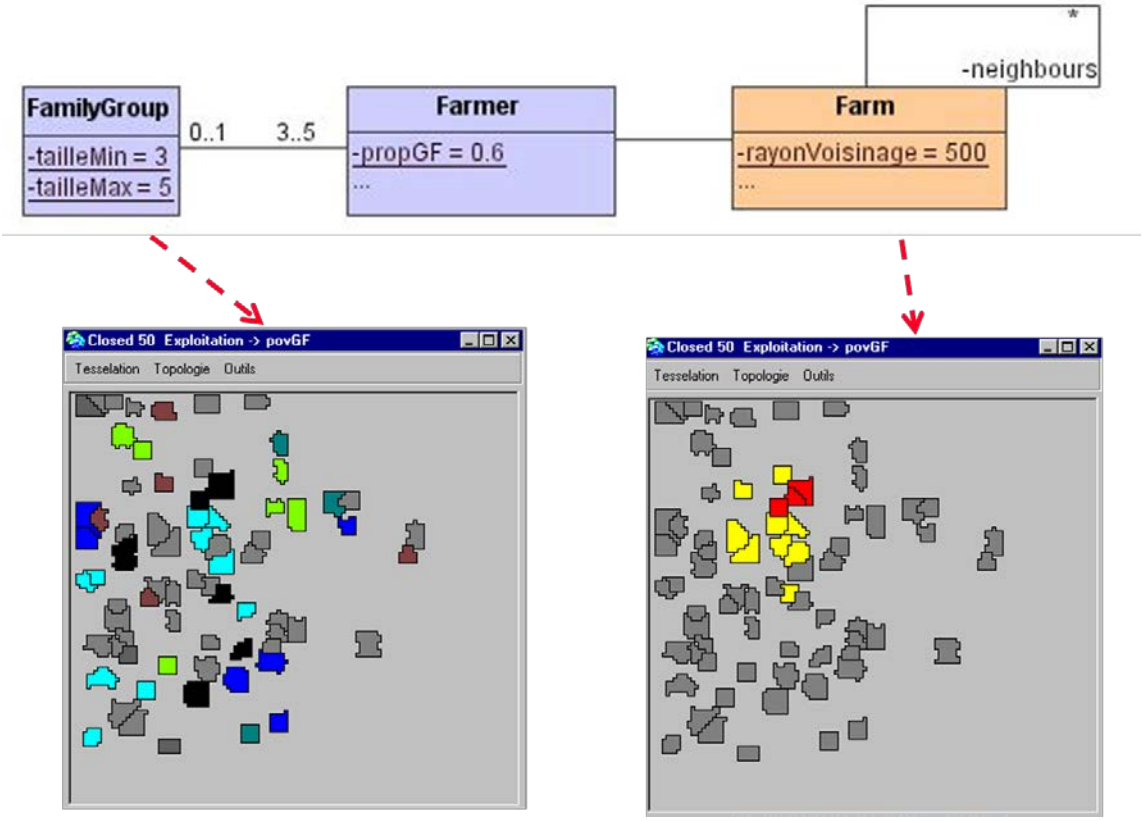


Figure 23. Représentation des réseaux locaux d'échange de semences au sein du paysage virtuel à partir d'une description UML (en haut) et dans l'interface graphique (en bas) du modèle expert Sorgho-Mali

Par contre, en plus de sa lourdeur, le premier modèle expert Sorgho-Mali reste statique et il est nécessaire d'implémenter des règles de dynamique pour pouvoir réaliser des simulations sur des scénarios simplifiés de circulation des variétés autour des cas suivants :

– pas d'introduction extérieure

– accès par proximité spatiale des champs

– accès aux pools de variétés des groupes familiaux

– connaissance des personnes ressources

- ***Une mise en scène des lacunes du modèle expert dans un premier jeu de rôle***

C'est après avoir identifié les lacunes du modèle expert sur notre méconnaissance des pratiques liées aux remplacement des variétés que des enquêtes spécifiques ont été conduites sur le premier semestre 2005 pour hiérarchiser les critères de choix des variétés et les modalités du changement. Le remplacement d'une variété intervient aussi bien pour des raisons propres à l'exploitation qu'extérieures à celle-ci, et ces raisons ne sont pas toujours liées à un échec. La curiosité et la volonté d'améliorer la productivité poussent certains paysans à tester régulièrement de nouvelles variétés sans pour autant noter d'échec sur leurs précédentes cultures. Le climat est le plus souvent à l'origine du changement de variété (aléas brusque ou continuum dans la péjoration climatique) mais des modifications de la stratégie agricole de l'exploitation peuvent également être impliquées ; par exemple le développement de la culture du maïs dans le sud du Mali. Enfin, l'introduction d'une nouvelle variété ne prend pas forcément la forme d'un test sur plusieurs années.

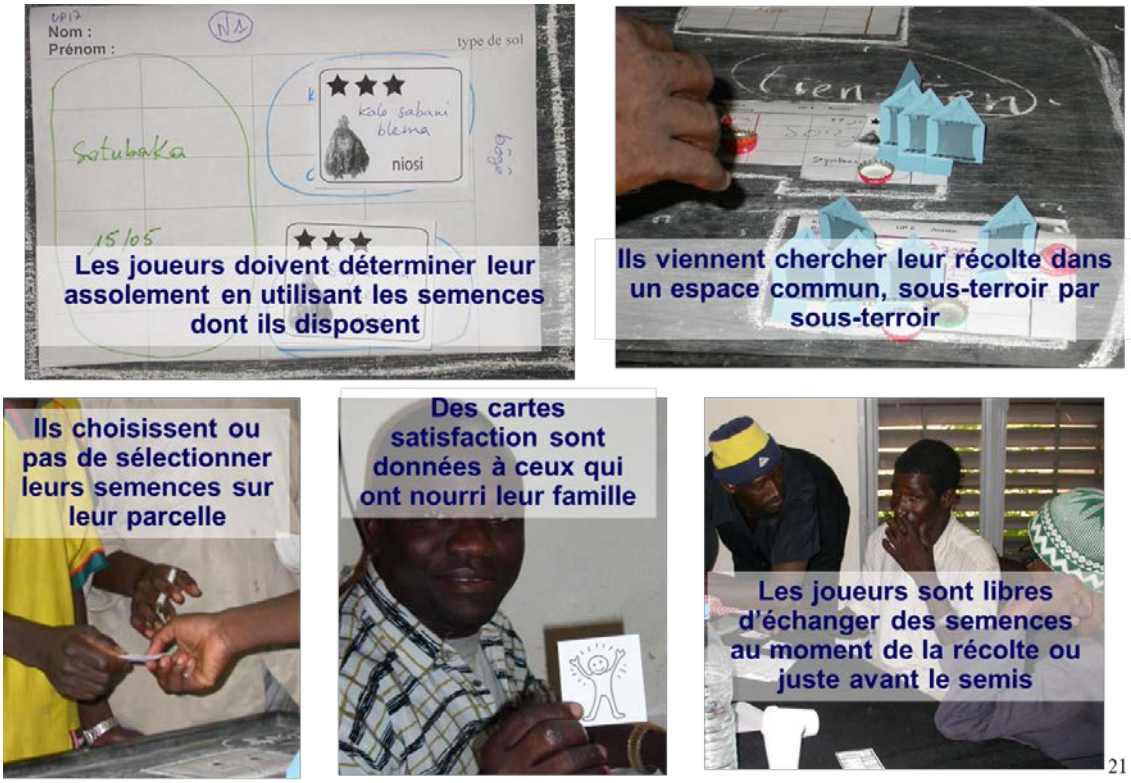


Figure 24. Illustration des différentes étapes déterminant une prise de décisions pour un joueur lors d'un jeu de rôle au Mali

Le premier jeu de rôle représentant un nouveau modèle conceptuel a été construit sur la base d'une représentation révisée du système incluant ces aspects dynamiques. Selon

l'arrivée des pluies, les paysans devaient choisir des variétés de sorgho selon les critères de description utilisés lors des enquêtes afin de réaliser un objectif de production correspondant aux besoins alimentaires de leur famille. En fonction des rendements obtenus, calculés par des abaques simplifiés, les paysans étaient libres d'échanger des semences entre eux. Cet objectif de production détermine le choix des cultures dans l'assolement mais les contraintes de travail liées à la structure de l'exploitation conditionnent les surfaces par culture et les variétés semées. Ainsi, il est indispensable de considérer l'ensemble des cultures –céréales, bien sûr, mais aussi les autres-, pour comprendre le choix des variétés au sein de la sole sorgho. La simplification du système de culture lors du jeu a trop contraint les paysans ce qui les a conduit à modifier leurs règles de décision. La gestion indépendante du parcellaire par année a ainsi amputé le paysan des choix relatifs à la succession des cultures sur une parcelle (rotation) et de ses implications sur le choix des variétés de sorgho.

Parmi les résultats associés à cette étape, nous en retiendrons deux principaux qui ont alimenté notre démarche de modélisation d'accompagnement par la suite :

– le comportement du paysan pour la décision de changement de variété peut reposer sur un processus d'évaluation propre ou sur un processus d'imitation des voisins que nous avons implémentés dans le modèle DIVA présenté ci-après;

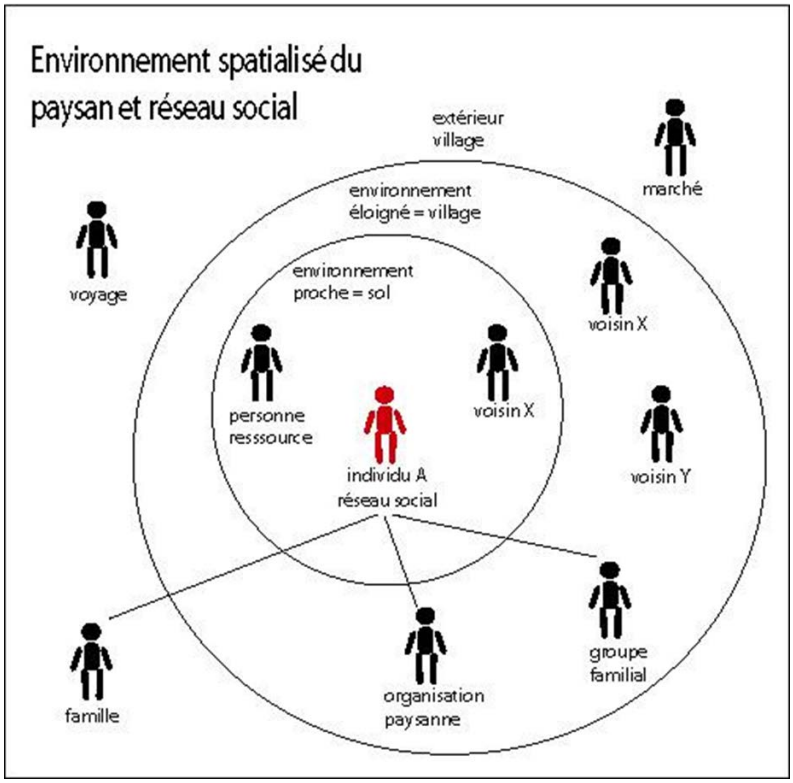
– l'hypothèse de trois stratégies distinctes d'association des variétés au sein de l'exploitation sur lesquelles s'appuie la construction d'un module du troisième SMA.

- ***D'un archétype de comportements à la définition d'un modèle abstrait (DIVA)***

Le SMA « DIVA » (pour DIversité VAriétale) représente la gestion paysanne de la biodiversité dans un modèle de décision simple, déconnecté de l'environnement réel (Tryphon-Dionnet[128], 2005). Il a pour objectif de tester les conséquences à un niveau global de la somme de décisions individuelles relatives au choix de variétés selon deux processus d'évaluation ou d'imitation. La portée théorique du modèle repose sur la question de la diffusion d'une innovation, la variété dans notre cas, grâce à la communication entre les individus. L'échange d'information a été simplifié à deux types de réseaux : un réseau géographique, correspondant à l'environnement physique du paysan, et un réseau social, correspondant à l'univers social propre à chaque paysan (figure 25).

Le réseau social permet à des individus géographiquement éloignés d'échanger des informations qu'ils ne pourraient pas ou rarement échanger avec leur entourage proche. Il est contraignant, dans le sens où il est prioritaire sur la distance qui sépare deux individus.

[128] Tryphon-Dionnet, M., 2005. *Pour une gestion paysanne de l'agrobiodiversité : le cas du sorgho au Mali*. DESS Espace et Milieu, Université Paris 7 - Denis Diderot, Paris, 103 pp.



Plus les individus sont éloignés de l'individu A, plus la chance qu'ils communiquent diminue, sauf s'ils appartiennent au réseau social de l'individu A auquel cas leur chance de communiquer est fonction du lien les unissant.

Figure 25. Réseaux d'échange d'information entre individus (d'après Tryphon-Dionnet, 2005)

L'implication du paysan au sein de ces deux réseaux permet de définir pour chaque paysan une occurrence d'accès aux variétés autres que les siennes, cultivées par des individus avec lesquels il échange de l'information. Peu importe s'il se déplace ou si les autres viennent à lui, l'important est que de nouvelles variétés apparaissent dans son champ de vision et deviennent ainsi disponibles s'il décide de changer de variété selon les deux comportements archétypaux décrits ci-après à partir de l'analyse des actions des paysans dans le jeu de rôle:

- Les paysans passifs ne recherchent pas activement de variétés mais fonctionnent sur un mode d'imitation. Les variétés introduites sont celles qui sont le plus cultivées autour d'eux. On peut considérer que cela correspondrait à une « rumeur positive » sur une variété qui induirait naturellement une dynamique de diffusion. Dans DIVA, les agents imitent leurs voisins en tirant au hasard, à chaque pas de temps, une variété du village en fonction de son importance relative dans leur réseau. Plus la variété est cultivée autour d'eux, plus ils ont de chance de la choisir.

- Les paysans actifs sont sans cesse à la recherche d'un « idéotype » de variété. Le paysan prend alors un risque pour introduire une variété dans son exploitation sans référence sur

celle-ci dans son voisinage. Dans DIVA, les agents doivent évaluer le niveau de production de leurs parcelles à chaque pas de temps et lorsque les résultats sur leur(s) variété(s) semée(s) ne leur conviennent pas, ils choisissent une nouvelle variété en fonction de leurs préférences.

La stratégie passive d'imitation aboutit à une situation d'équilibre dans laquelle aucune variété ne semble prendre le dessus sur les autres (figure 18). A l'opposé, la stratégie active d'évaluation aboutit très rapidement à un équilibre dans lequel une variété prend le dessus sur les autres. La diversité globale du système chute très vite et seules deux variétés se maintiennent dans le système avec l'une qui représente 80% des surfaces semées. Nous pouvons souligner la puissance de l'outil de modélisation qui, avec des règles très simples de décisions des agents dans leur environnement, donne la possibilité de produire des situations qui seraient très difficilement prévisibles et caractérisables par une approche mathématique classique. L'aspect pédagogique de l'exploration de différents scénarios de simulations est tout aussi important.

Ainsi, lorsque tous les agents fonctionnent sur un mode « rationnel » d'optimisation (évaluation des pairs), la plupart des variétés disparaissent. En revanche, s'ils suivent une stratégie passive d'imitation (« irrationnelle » ?), toutes les variétés se maintiennent. Dans notre cas, nous ne cherchons pas à valider la réalité des règles introduites dans le modèle mais plutôt à les utiliser pour discuter du type de comportement qu'elles illustrent. Ainsi, on s'intéresse plus à l'impact d'une introduction sur la biodiversité au niveau global qu'au fait qu'une variété prenne le dessus sur les autres.

- ***Déstructurer notre représentation en décomposant le système en 3 modules***

La particularité du système semencier comme tout système complexe fait qu'il est difficile de comprendre les effets d'une règle tant les éléments en jeu sont en inter relation. La désagrégation de notre représentation du système semencier permet de les analyser progressivement dans des sous-systèmes en éliminant volontairement au départ certaines relations. Chaque contexte de décision particulier a fait l'objet du développement d'un module indépendant au sein du troisième modèle SMA afin de le situer à un niveau de complexité accessible aux paysans (Abrami[129] *et al.*, 2005). Le modèle est structuré en trois modules à travailler de façon indépendante lors d'ateliers participatifs (figure 26):

- Le Module « Systèmes de production et Système de culture pour le choix des variétés »,

- Le Module « Fournisseurs »,

- Le Module « Stratégies d'association de variétés ».

[129] Abrami G., Bazile, D., Le Page, C., Dembele, S. et Dionnet, M., 2005. Preparing a framework for participatory modelling of farmers seed systems in Mali: varieties selection and exchange. *In*: ESSA (Ed.), *The third annual conference of the European Social Simulation Association*. ESSA, Koblenz-Landau University on September 5–9, 2005, 7p.

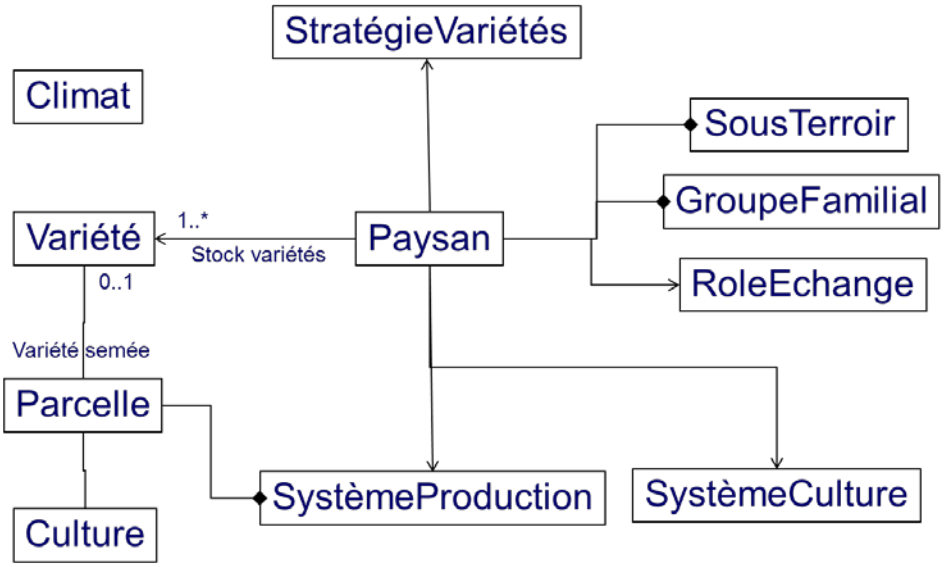


Figure 26. Structuration du SMA par assemblage des 3 modules.

2.3.2 Le modèle, pour quoi faire

Le modèle pour améliorer nos connaissances

Les différents JdR ont permis d'améliorer notre connaissance sur le système semencier et, d'implémenter immédiatement les nouveaux résultats dans le modèle informatique en construction permanente.

Le partage et l'appropriation de nos objectifs, parfois seulement a posteriori par les paysans pendant le débriefing, sont nécessaires pour leur donner les moyens de critiquer, sur le fond et la forme, les outils développés au regard des résultats attendus et obtenus. Ainsi par exemple, la critique de la construction du JdR sur « la quête des fournisseurs de semences» a montré que la structuration du temps proposé dans le jeu pour les échanges de semences entre paysans ne permettait pas d'aboutir aux résultats escomptés. En soumettant à la fois nos outils à la critique et nos résultats à la réfutation, nous nous engageons réellement dans une co-construction sur la base d'un partenariat équitable. Ces échanges nous ont alors permis de spécifier trois cas particuliers relatifs à la recherche d'une variété qui déterminent des cheminements différents pour l'accès à la semence recherchée :

- recherche de la quantité nécessaire d'une variété perdue pour semer toute sa parcelle ;

- recherche d'un type de variété précis connu sur le village (même si peu de semence) ;

- recherche d'une variété nouvelle (idéotype) non connue qu'il faudra expérimenter.

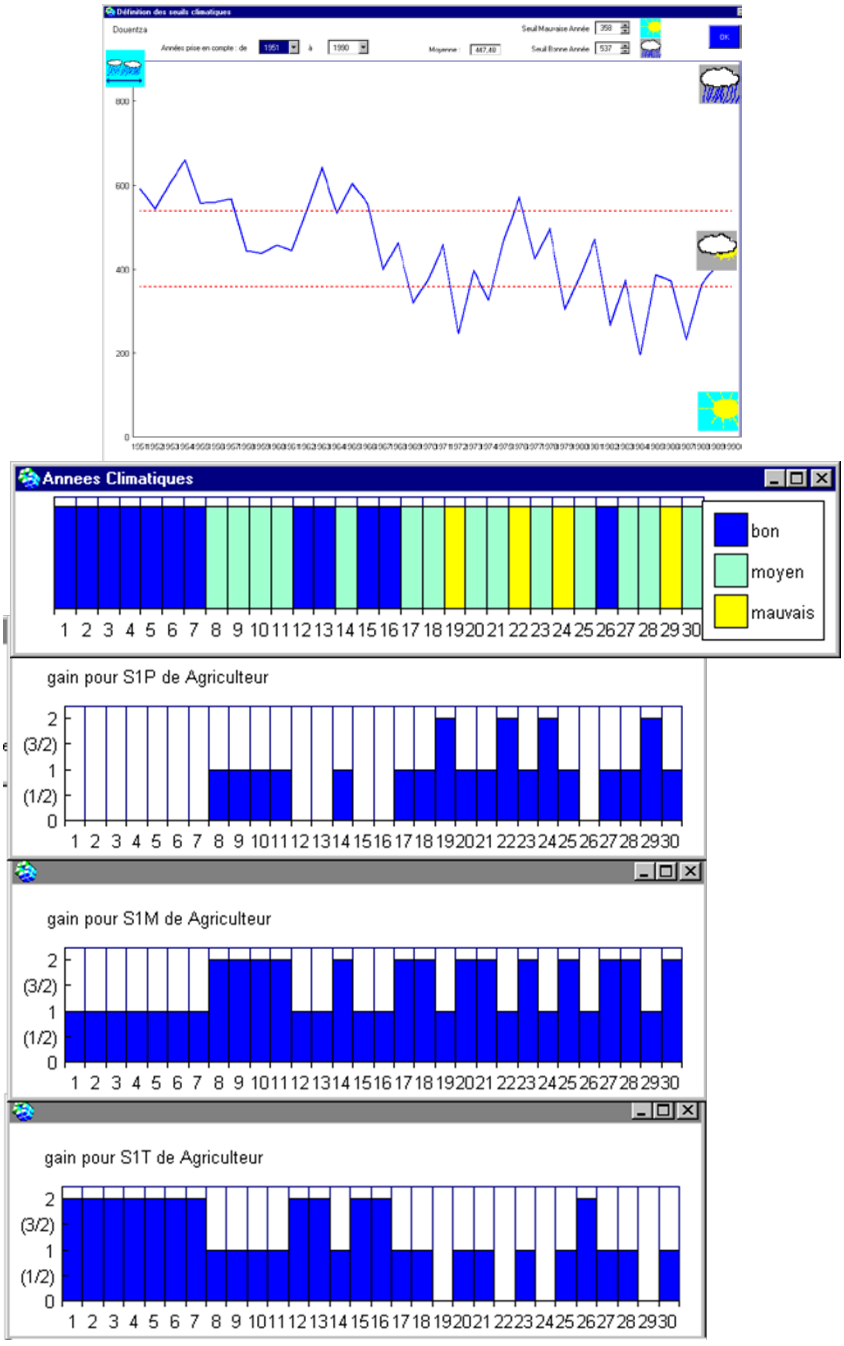
Le premier cas s'applique principalement après une catastrophe où le paysan doit renouveler toute sa semence. Il ira s'approvisionner en priorité chez les gros paysans où il sera sûr d'avoir la quantité de semence désirée. Les deux cas suivants correspondent à la recherche de semence sur un critère de qualité connu ou théorique. Le paysan recherche initialement une faible quantité qu'il pourra multiplier par la suite sur son exploitation si le résultat du test est probant. Dans tous les cas, la recherche de semences débute dans des réseaux dont le paysan est membre (famille, organisation paysanne, voisinage, etc.). A l'intérieur ou à l'extérieur de ses réseaux, le paysan s'adresse à des exploitations reconnues sur certains rôles dans les échanges : gros producteur, personne-ressource, chef de village, etc.

Les hypothèses validées lors des séances de jeu sont utilisées directement pour informer chacun des modules du 3ème modèle SMA. L'objectif de ce modèle est de pouvoir travailler indépendamment sur chacun des trois aspects de la prise de décision des paysans. Les trois modules peuvent fonctionner ensemble, ou bien il est possible de ne s'intéresser qu'à 1 ou 2 d'entre eux. Dans ce cas, là, un comportement est défini par défaut dans le modèle pour les modules non utilisés. Ce modèle présente un niveau d'abstraction supérieur au modèle expert car il vise à faire discuter des paysans issus de différentes régions. Cette abstraction se traduit par une qualification qualitative des paramètres descriptifs du modèle (climat, types de variétés, gains, types de sols, taille et équipement des exploitations). Une simulation permet d'observer la dynamique d'occupation des variétés dans un village avec un pas de temps annuel. Le climat simulé est construit à partir de séries climatiques historiques sur les régions d'origine des paysans et caractérisées qualitativement par leurs soins en début de session.

L'appropriation du modèle par les paysans

La construction d'un modèle sur la base de modules mis en situation dans des JdR facilite l'appropriation de ce modèle par les paysans. Nous pouvons illustrer ce propos en montrant comment les paysans participent au paramétrage du modèle pour leur région. A titre d'exemple, le module « association des variétés » a été construit en simplifiant la réalité du choix des variétés de sorgho à trois types, précoce, moyen et tardif, en fonction du calage de la maturité des panicules avec la fin de saison des pluies qui peut être bonne, moyenne ou mauvaise. C'est sur ce dernier point que le paysan travaille avec nous sur le calibrage du modèle pour sa région. L'ordinateur dispose de séries climatiques sur 40 ans qui permettent de présenter une courbe des précipitations annuelles. Le travail se fait spécifiquement sur une zone, et les paysans d'autres régions réagissent s'ils ont un mode de raisonnement différent. La première étape consiste à restreindre la fenêtre climatique aux années de référence en leur demandant de situer les bonnes et les mauvaises années qui leur servent encore aujourd'hui de référence pour estimer si l'année a été bonne ou mauvaise. Nous pouvons alors limiter l'affichage aux 10 ou 20 dernières années. Ensuite sur les années restantes, le paysan doit désigner les bonnes et les mauvaises années en se référant aux événements de son village qui lui permettent de situer les années les unes par rapport aux autres. Nous déplaçons alors la limite des bonnes et mauvaises années avec un

curseur (affichage d'une ligne rouge horizontale) que l'on ajuste aux dires des paysans. La simulation du gain pour une stratégie donnée permet de visualiser immédiatement des résultats sur un nombre d'années défini et de tester la robustesse du modèle, puis d'explorer et de comparer des stratégies entre elles (figure 27).



Calibrage des années climatiques avec matérialisation des exploitations selon les trois stratégies S1 (une variété) avec une seule variété précoce (S1P), moyenne (S1M) ou tardive (S1T), S2 (deux variétés complémentaires), S3 (changement permanent de variétés). Visualisation de la succession des années climatiques sur les 30 années de la simulation

Figure 27. Calibrage des saisons des pluies et simulation des gains sur 30 ans (Douentza)

Vers l'émergence de nouvelles règles de gestion

L'organisation des différentes sessions de jeux de rôles montre qu'il s'agit d'un outil bien adapté pour valider des hypothèses ou des résultats acquis par ailleurs et permettre de les contredire. La synthèse des données collectées et sa formalisation dans un jeu sont apparues comme une étape nécessaire pour partager notre représentation du système semencier avant d'aborder le modèle. Une bonne connaissance du terrain, et de ses protagonistes, facilite l'organisation du jeu mais aussi les modalités de son observation qui ne prennent sens qu'à la lumière des connaissances précédemment acquises sur le terrain. Néanmoins, le jeu peut aussi parfois être utilisé pour construire ensemble l'information de base, nous sommes alors dans un véritable processus de co-apprentissage.

Pourtant la formalisation dans un jeu des connaissances acquises par diverses enquêtes est très lourde en temps de travail à la fois pour la calibration du jeu et la préparation du débriefing sur la base d'hypothèses simples. Mais ce temps est important à prendre car les paysans apprécient beaucoup l'aspect de mise en scène de leurs pratiques dans le jeu de rôle qui favorise par la suite des discussions en profondeur sur leurs actions plus étroitement connectées à une réalité partagée. Même si des contraintes sont régulièrement été soulevées sur la mise en œuvre des jeux, il apparaît qu'ils demeurent dans notre cas un passage obligé pour passer à l'étape suivante et aborder le modèle multi-agents informatique de façon sereine. En effet, les modèles informatiques isolés sont souvent illisibles et considérés comme des « boîtes noires », c'est pourquoi il est difficile de communiquer autour d'eux directement avec les paysans. Leur usage conjoint avec les jeux de rôle permet d'une part, de rendre intelligible des modèles conceptuels lourds sous une forme ludique et d'autre part, d'accélérer le déroulement des jeux (reproduction des résultats sur le long terme) ou d'explorer de nouveaux scénarios en effectuant des simulations. Une synergie peut ainsi être créée qui renforce mutuellement l'utilisation de ces deux outils (Barreteau[130], 2003).

Enfin, la finalité à moyen terme de la simulation multi-agents est de l'utiliser pour favoriser l'émergence de nouvelles règles favorables au maintien de la diversité des variétés de céréales. Ainsi, les organisations paysannes participent de plus en plus à l'approvisionnement en semences améliorées de leurs adhérents et accélèrent le rythme des échanges. On risque alors de perdre la résilience du système semencier traditionnel et d'accélérer l'érosion variétale si une sensibilisation n'est pas conduite auprès des leaders paysans qui disposent d'une très forte reconnaissance locale (Bazile, 2006). L'organisation d'un atelier début 2007 avec tous les acteurs de la filière semencière malienne nous a donné la possibilité de pouvoir faire évoluer ce système informel pour prendre en compte

[130] Barreteau, O., 2003. The joint use of role-playing games and models regarding negotiation processes: characterization of association. . *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6-2, http://jasss:soc:surrey:ac:uk/6/2/3.html.

de façon explicite un objectif de maintien de la diversité variétale *in situ* par de nouvelles institutions en cours de création. Les modèles multi-agents développés jusque-là ont alors pu être mobilisés pour simuler les rôles actuels relatifs aux flux de variétés définis par les statuts de l'institution et d'en proposer de nouveaux à tester dans le futur à partir des résultats de nos simulations. Le modèle, déjà accepté comme une représentation valide par les paysans, les organisations paysannes, les ONG et la recherche, permet de discuter immédiatement de la modification des rôles de chacun sur le système avec tous les acteurs impliqués dans la gestion des semences et de s'accorder sur les règles favorables au maintien de la diversité variétale du sorgho.

L'utilisation du modèle dans ce cas a été résumée comme suit par les paysans, organisations paysannes et ONG à la fin d'un atelier à Bamako en avril 2007 et réunissant des partenaires du Mali et du Niger :

- Accompagner la mise en place des coopératives semencières et autres institutions rurales pour la gestion *in situ* des variétés traditionnelles de céréales ;
- Caractériser la résilience des systèmes semenciers paysans ouest africains
- Utiliser les diverses représentations pour appréhender, caractériser et comparer différents systèmes semenciers dans le monde
- Faire communiquer le Système Semencier National et le Système Semencier Paysan, avec les systèmes alimentaires et marchands
- Favoriser la rencontre entre tous les acteurs du paysan, au chercheur, au décideur, au politique pour faire évoluer le législatif et le réglementaire (UPOV91, Traité International Sur les Ressources Phytogénétiques)

En conclusion de cette partie, le modèle peut donc servir à répondre à différents objectifs. Dans notre cas, nous pouvons les définir comme suit:

- Identifier et comprendre un processus, un phénomène ;
- Explorer les interactions dynamiques sociales et écologiques ;
- Construire une représentation partagée d'un système ;
- Améliorer nos connaissances en s'ouvrant à des horizons inconnus ou en redéfinissant ceux que l'on pensait connaitre ;
- Faciliter la concertation et le dialogue, et/ou la négociation ;
- Appuyer la décision collective ;
- Enseigner.

2.3.3 Apprentissages: de la pratique individuelle à l'action collective

« *Quand vous plantez une graine une fois, vous obtenez une seule et unique récolte. Quand vous instruisez les gens, vous en obtenez cent.* **»** [**Confucius**]

L'objectif final du processus de modélisation d'accompagnement développé dans cette recherche est d'aider à l'émergence de la décision collective pour produire et tester de nouvelles règles de gestion capable d'améliorer le maintien *in situ* des variétés de sorgho.

Le premier modèle scientifique a permis de faire le point sur les connaissances expertes et de s'apercevoir que la masse de données recueillies par la méthode d'enquête classique ne permettait pas d'expliquer de façon claire et fiable les choix paysans liés à la dynamique de la biodiversité. Le second modèle a permis de tester des hypothèses sur les comportements paysans en comparant les scénarios d'évolution à partir du suivi des courbes de diffusion observées ou théoriques.

Le dernier modèle généralise les hypothèses et observation accumulées durant le processus pour les confronter sous une forme originale à nos partenaires locaux, paysans et ONG. Le processus participatif engagé avec les communautés agricoles au moyen des JdR et des ateliers participatifs de simulation a permis d'initier une réflexion collective à l'échelle du village sur des scénarios alternatifs de gestion de la biodiversité agricole. L'accompagnement de cette réflexion a abouti dans l'atelier de JdR d'avril 2007 à discuter de l'émergence de différentes formes de coordination : les banques de semences villageoises et les coopératives semencières. L'application du modèle pour la définition des règles de fonctionnement de ces institutions est un résultat majeur où les scénarios et les indicateurs de suivi sont discutés collectivement ce qui permet non seulement de construire une prospective collective grâce à cet objet intermédiaire qu'est le modèle, mais aussi par la suite une appropriation facilitée de l'innovation.

En excluant une portée de prédiction pour le modèle, on se focalise sur la formalisation et la mise en relation des connaissances portées par un groupe : synthèse des savoirs épars et formalisation d'hypothèses communes, explicitation des implicites et identification des lacunes de connaissance. La modélisation devient une démarche collective avec la construction d'un langage commun qui permet de restituer les différents points de vue. Le modèle n'est plus considéré comme une boite noire mais le « fil rouge » des rencontres pour un collectif. Il devient un objet pour lequel le paysan n'est plus l'enquêté mais un acteur du système capable de prendre du recul sur une situation donnée. Le modèle évolue et s'adapte aux questions posées, il devient un objet intermédiaire dans un processus qui suit l'évolution de la réflexion.

Dans le cadre d'un apprentissage collectif, l'organisation des différentes sessions de jeux de rôles montre qu'il s'agit d'un outil bien adapté pour valider des hypothèses ou des résultats acquis par ailleurs et permettre de les contredire, de les faire évoluer et/ou de les réfuter. La modélisation participe à la construction d'une synthèse collective des données recueillies et à leur formalisation dans un modèle (JdR/SMA). Néanmoins, le JdR peut aussi

parfois être utilisé plus en amont pour construire ensemble l'information de base et établir un diagnostic partagé; nous sommes alors dans un véritable processus de co-apprentissage sur toutes les étapes de la construction collective des connaissances jusqu'à leur utilisation dans d'autres contextes.

Souvent considérés comme des « boîtes noires », les modèles informatiques isolés apparaissent souvent illisibles pour les paysans. Pourtant leur usage conjoint au JdR permet de rendre intelligible des modèles conceptuels parfois compliqués sous une forme ludique. Le renforcement mutuel de l'utilisation de ces deux outils permet au paysan d'explorer de nouveaux scénarios en effectuant lui-même des simulations dès lors qu'il a pu s'approprier cet outil.

Pour décrire les apprentissages observés, le diagramme UML de la figure 28 a servi de préalable à la démarche. La modélisation est expliquée au paysan comme étant l'explication d'une action qu'une personne doit réaliser en détaillant toutes les étapes nécessaires à la prise de décision finale. On part d'une situation initiale avec un objectif et on termine avec sa réalisation. Dans le cas présent, le support de discussion est l'exemple concret des étapes nécessaires à la préparation du plat de *tô* à base de sorgho. La suite logique représentée dans le diagramme UML est facilement comprise par les paysans pour s'approprier ce schéma de représentation et l'appliquer ensuite à leur situation sur la dynamique des variétés au sein du système semencier.

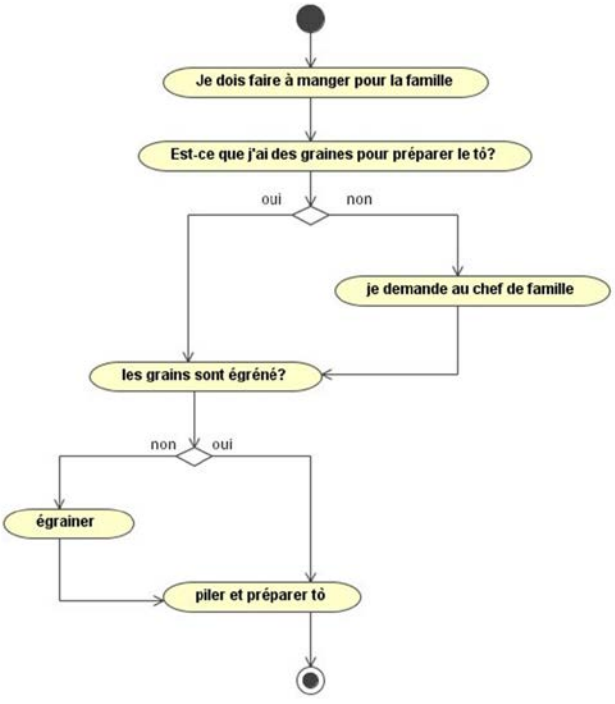


Figure 28. Diagramme UML expliquant les étapes de la préparation du repas traditionnel à base de sorgho : le tô.

Figure 29. Elaboration du schéma de fonctionnement du système semencier par les paysans : choix des éléments servant à la prise de décision (à gauche) et construction d'un diagramme d'activités (à droite).

L'objectif de ce travail préliminaire est d'introduire les paysans à l'utilisation des SMA grâce à un travail collectif de modélisation conceptuelle du système semencier. La méthodologie des « *playable stories* » développée en Thaïlande par Nicolas Bécu (2006) durant sa thèse a pour principe de mettre à disposition des paysans un catalogue d'entités (figure 29, gauche), qui correspondent à des aspects structurels de leur système semencier, puis de raconter aux paysans en plusieurs étapes une histoire correspondant à une saison de culture archétypale. A chaque étape, les paysans sont invités à sélectionner les entités mobilisées dans leur histoire et à les mettre en relation. Ils construisent alors progressivement leur propre modèle conceptuel selon leur perception du système semencier (figure 29, droite).

La finalité de cette démarche est de faire comprendre aux paysans ce que nous mettons derrière les notions abstraites d'entité, de relation, et de modèle afin qu'ils puissent comprendre et s'approprier notre travail. Cette mise en situation où ils doivent aller jusqu'à l'explication de leur modèle par un partage avec les autres paysans de l'atelier leur permet d'être plus à l'aise dans la suite des activités lorsque l'ordinateur est introduit. Afin de provoquer un effort d'abstraction et de formalisation des éléments et processus mobilisés, ce travail de modélisation conceptuelle par les paysans a été réalisé de manière collective, par groupes de 3 ou 4 paysans issus de villages différents au sein d'une même petite région agricole assimilée à un système agraire homogène. A l'issue chaque séance de travail, un représentant de chaque groupe est invité à présenter la production collective aux paysans venant d'autres régions. Cette présentation croisée, et la mise en débat qui s'en suit, ont pour objectif de revenir non seulement sur la notion de modèle mais aussi d'introduire celles de points de vue et de stratégies différenciées.

Enfin, un objectif secondaire de ces ateliers est bien sûr de créer du lien entre les paysans issus des différentes zones géographiques et de cultures différentes en les faisant travailler collectivement sur un même objet.

Cette co-construction joue un rôle positif dans le transfert de connaissance entre les paysans pour expliquer et, finalement s'approprier lors du processus de modélisation, une première vision partagée du système semencier.

Cette étape est un préalable pour retravailler avec les paysans notre représentation du système semencier de façon à ce qu'il puisse bien rendre compte des entités mobilisées au bon moment dans le déroulement de leur prise de décision pour chacune des actions à réaliser. Cela passe par un calibrage des années climatiques avec des seuils adaptés à chaque région bioclimatique (figure 30, gauche) de façon à discuter collectivement des assolements les plus adaptés selon la pluviométrie de l'année (figure 30, droite). L'utilisation de fenêtres simplifiées pour les paramétrages montre aux paysans que les choses ne sont pas figées dans le modèle qui peut alors servir pour l'exploration.

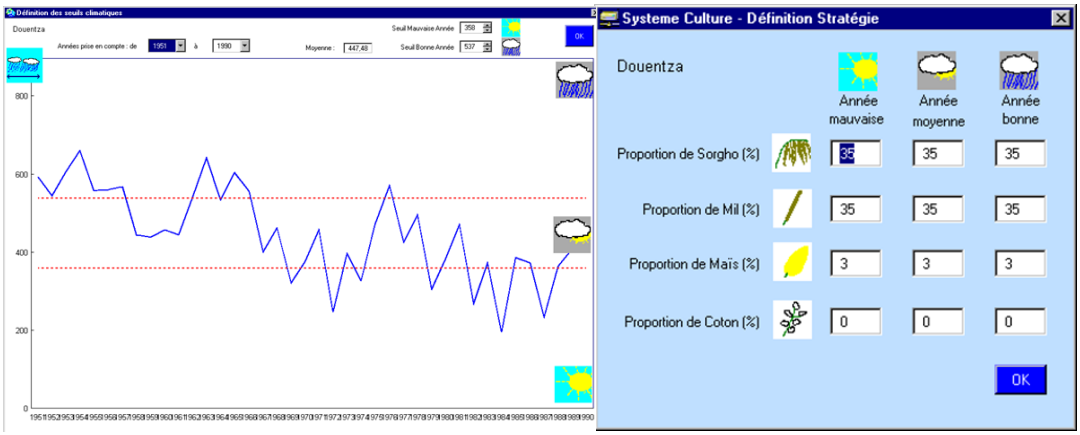


Figure 30. Calibrage par les paysans des années climatiques d'une région en 3 classes [bon, moyen, mauvais] selon la pluviométrie des 30 dernières années (à gauche) pour déterminer les assolements les mieux adaptés (à droite).

La mise en pratique immédiate sur les choix d'association des variétés permet alors de valider avec les paysans nos abaques de rendement et de tester leur robustesse dans le modèle. En effet, si l'on s'intéresse principalement à la reproduction des semences dans une perspective de maintien de la biodiversité, l'évaluation du rendement en 3 classes [0 : échec ; 1 : production moyenne ; 2 : production exceptionnelle] facilite la lecture et la confrontation des résultats selon les choix opérés par les paysans (figure 31). L'utilisation du modèle permet alors de s'intéresser collectivement aux effets de choix individuels pour la sécurité alimentaire globale analysée à l'échelle du village sur une longue période (figure 32), puis de tester différents scénarios d'associations de variétés en discutant les résultats issus des sorties du modèle traduites sous forme de gains.

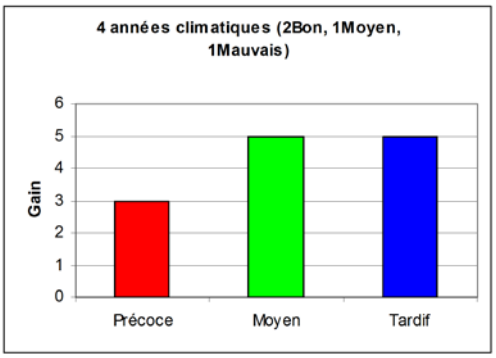


Figure 31. Synthèse de la production de sorgho par un paysan après 4 années selon ses choix basés sur l'utilisation d'une seule variété (précoce, moyenne ou tardive).

Figure 32. Utilisation du modèle par les paysans pour tester sur une longue période différents choix d'association de variétés dans la région de Koutiala au Mali.

Enfin, une finalité à moyen terme de la simulation multi-agents est de l'utiliser pour favoriser l'émergence de nouvelles règles favorables au maintien de la diversité des variétés de céréales. Le contexte malien montre que les organisations paysannes participent de plus en plus à l'approvisionnement en semences améliorées de leurs adhérents et accélèrent le rythme des échanges. Les modèles multi-agents développés permettaient jusque-là de simuler les rôles actuels relatifs aux flux de variétés sans réellement en tester de nouveaux pour le futur. Le modèle, déjà accepté comme une représentation valide par les paysans, les organisations paysannes, les ONG et la recherche, permet alors de discuter immédiatement de la modification des rôles de chacun dans et sur

le système avec tous les acteurs impliqués dans la gestion des semences afin de s'accorder sur les règles favorables au maintien de la diversité variétale du sorgho.

La diversité variétale est considérée par les communautés agricoles comme un bien commun c'est pourquoi il est important d'interroger sa durabilité tant au niveau du maintien des écosystèmes et des cultures que dans sa réponse aux besoins futurs des populations. Elle doit pour cela être envisagée sur les plans social, spatial et temporel comme étant la résultante d'une multitude de situations et de stratégies individuelles et collectives entrecroisées. Dans un objectif de renforcement des capacités des acteurs locaux et de leurs communautés, les modèles et les JdR ont permis aux paysans, membres d'organisations paysannes ou d'ONG, de dialoguer avec les chercheurs pour construire ensemble une vision partagée de la dynamique de la biodiversité agricole. Les avancées de ce travail reposent notamment sur la confrontation des expériences, notamment lors de la simulation des règles de fonctionnement des banques de semences villageoises et des coopératives semencières avec les outils développés auparavant pour questionner concrètement les objectifs et les fonctions de ces nouvelles institutions rurales. Sur cette base, il a été possible de discuter de scénarios d'évolution des règles envisagées et pour lesquels le transfert d'innovation est déjà inclus dans le processus.

En conclusion de cette partie 3.3 « Le modèle: objet frontière ou langage passerelle », le processus de modélisation participative, dès lors qu'il est engagé avec des acteurs qui se l'approprient et se posent des questions spécifiques, va au-delà de la simple construction d'une vision partagée sur les dynamiques de la biodiversité au sein du système semencier. Ce travail permet une application du concept de gestion adaptative à notre étude de la gestion dynamique de l'agrobiodiversité. La mobilisation d'outils originaux (JdR et SMA) contribue à une meilleure prise en compte des dimensions sociales et collectives pour la gestion des ressources naturelles renouvelables. Les résultats de ce travail montrent aussi que les savoirs peuvent se construire en réseaux. Dès lors, les échanges d'expériences servent de base pour un apprentissage territorial qui permet de reconsidérer et/ou d'envisager un nouveau projet collectif pour les acteurs de ce territoire.

La place donnée à la participation des acteurs locaux au cours de la démarche peut varier en fonction des objectifs assignés à chaque étape. De la même façon, l'élaboration conjointe, chercheurs et acteurs locaux, d'un modèle de système semencier sort facilement du cadre assigné au départ pour ce travail. Le travail de généricité conduit sur les systèmes semenciers apparait comme une contribution originale à une animation scientifique transversale entre chercheurs de différentes disciplines s'intéressant à l'agrobiodiversité, son utilisation et/ou sa conservation. Le développement d'outils éducatifs à partir de cette base de modèles et d'expériences rejoint cet objectif. L'utilisation du JdR SEED-DIV[131]

[131] Abrami G., Bazile D., Coulibaly H., Bousquet F. 2010. Seed-div: an abstract role-playing game for discussing collective management of agrobiodiversity. In : Coudel Emilie (ed.), Devautour Hubert (ed.), Soulard Christophe (ed.), Hubert Bernard (ed.). International symposium ISDA 2010. Innovation and

(Abrami et al, 2010) dans diverses formations pour des étudiants en France et à l'étranger montre la portée générique de l'outil développé pour faire réfléchir aux modes de gestion de la biodiversité.

L'utilisation actuelle de ces outils porte sur l'analyse de l'impact de politiques publiques. Cela devrait nous aider à rassembler des éléments pour répondre (au moins en partie) aux demandes des décideurs pour évaluer les effets escomptés de leurs interventions liés à la conservation de la biodiversité en agriculture.

sustainable development in agriculture and food : Abstracts and papers. Montpellier : CIRAD, 15 p. International symposium ISDA 2010, 2010-06-28/2010-07-01, Montpellier, France.

http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00533450/fr/

PARTIE 3:

PROPOSITION D'INTEGRATION DANS LES RECHERCHES FUTURES AUTOUR DU QUINOA

« *Nous avons à vivre non point dans un monde nouveau*
dont il serait possible au moins de faire la description,
mais dans un monde mobile,
c'est-à-dire que le concept d'adaptation doit être généralisé
pour rester applicable à nos sociétés en accélération. **»**
[**Gaston Berger**]

3 Proposition d'intégration des recherches futures autour du quinoa

Le développement de la culture du quinoa à l'échelle mondiale dépasse largement les questions posées sur la caractérisation et la valorisation de sa biodiversité permettant l'extension de son aire de culture. Dans cette partie, nous verrons que de nombreux enjeux sont reliés à l'expansion de cette culture mineure qui est en passe de devenir une culture majeure pour l'agriculture mondiale. Afin de bien répondre à la multiplicité de ces enjeux, l'agroécologie apparait comme un concept intéressant à mobiliser pour nos recherches futures. Néanmoins, tout comme nous l'avons discuté en partie 1 puis illustré dans la partie 2, en tant que géographe, au-delà des apports du concept, l'agroécologie est révélatrice d'un changement de paradigme dans nos modèles agricoles. Même si aujourd'hui la dynamique parait encore être difficile à impulser, une recherche orientée sur les enjeux à mobiliser l'agroécologie devrait permettre d'apporter des éléments pour questionner le développement de l'agroécologie et/ou de ses principes. Notre objet scientifique central restant la dynamique de la biodiversité agricole, notre étude de l'agroécologie portera sur une analyse du changement portée par l'agroécologie eu égard à l'évolution de cette biodiversité.

3.1 Les apports de l'agroécologie

Le terme « agroécologie » n'est pas récent mais il occupe une place de plus en plus importante dans les publications scientifiques (Wezel[132], 2009). Une certaine confusion règne pourtant autour de l'utilisation du terme tant les définitions sont variées car l'agroécologie est devenue à la fois une théorie scientifique, une pratique et mouvement social (Wezel[133] *et al.,* 2009). Au-delà de l'origine du concept, de ses fondements scientifiques et techniques (Altieri[134], 1995 ; Gliessmann[135], 2007), nous insisterons davantage sur les défis que le recours à l'agroécologie représente et comment sa mise en œuvre nécessite un changement d'échelle voire de paradigme. En effet, le terme est de plus en plus largement utilisé pour désigner un nouveau modèle agricole qui concilierait les enjeux économiques et environnementaux de l'agriculture (IAASTD[136], 2008).

Les recherches en agroécologie visent alors un meilleur compromis agriculture-environnement c'est pourquoi la question de l'adaptation des systèmes agricoles et de leur résilience devient centrale dans les questions de recherche (Altieri & Nicholls[137], 1995). Ces questions peuvent alors aussi bien être adressées dans des contextes d'agricultures tempérées[138] que dans des situations d'agricultures tropicales qui doivent en permanence faire face à un environnement changeant caractérisé par:

- les effets du changement climatique, avec en particulier la progression des aléas (sécheresse, inondation, pic de chaleur, etc.);

- l'émergence de plantes invasives ou de maladies, ou plus largement de bioagresseurs bénéficiant du changement climatique et générant de nouvelles épidémies et pullulations;

---

[132] Wezel *et al.*, «A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecology», *International Journal of Agricultural Sustainability*, 7 (1), 2009.

[133] A. Wezel et al. 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.*

[134] Miguel A. Altieri, *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture,* 2e éd., Boulder, Colorado, Westview Press, 1995.

[135] S. Gliessman, *Agroecology: the ecology of sustainable food systems*, Boca Raton, Florida, CRC Press, 2007.

[136] International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (IAASTD), *Summary for Decision Makers of the Global Report*, approuvé par 58 gouvernements à Johannesburg, avril 2008. Voir Caron et al, 2009.

[137] Miguel A. Altieri et Clara I. Nicholis, *Agroecology and the Search for a Truly Sustainable Agriculture*, PNUE, Mexique, 2005.

[138] Revue AE&S vol.2, n°1, juin 2012 Agriculture et écologie: tensions, synergies et enjeux pour l'agronomie

- des distorsions sur les marchés mondiaux engendrés par une très forte volatilité des prix que ce soit au niveau des coûts de l'énergie fossile avec son impact immédiat sur les intrants (engrais minéraux issus de la pétrochimie) ou sur le prix final des produits agricoles pour lesquels les subventions et autres incitations assurent un lobbying au niveau des cours mondiaux générant des aléas économiques à répétition.

Compte-tenu des défis actuels auxquels doivent faire face les agricultures, l'agroécologie apparait comme une voie possible d'intégration des performances économiques, sociales et environnementales de l'agriculture (Pretty[139], 2008). Le rapport sur l'agroécologie dans le cadre du droit à l'alimentation présenté par Olivier de Schutter[140] (2010) lors de l'Assemblée Générale des Nations Unies montre pourquoi l'agriculture devrait être fondamentalement réorientée vers des modes de production qui soient plus durables sur le plan environnemental et plus justes sur le plan social. Parmi ses principales orientations, il propose de maintenir et/ou d'introduire la **biodiversité agricole** en vue d'obtenir les résultats souhaités en matière d'accroissement de la production et de durabilité. En effet, une évolution vers des systèmes à bas niveaux d'intrants est possible en terme de gestion par un accroissement de la diversité dans les systèmes de culture et au niveau des paysages couplé avec une optimisation des interactions biologiques à différentes échelles (Pretty[141], 2006).

Parmi les grands enjeux auxquels l'humanité devra faire face au cours du XXI^{ème} siècle, la sécurité alimentaire mondiale (FAO[142], 2011; Poppy[143] *et al*. 2014) et les changements globaux apparaissent en tête en considérant l'atténuation de l'effet de serre et l'adaptation de l'agriculture et de la forêt au changement climatique, le développement de systèmes alimentaires sains et durables et une valorisation de la biomasse.

Considérant ce contexte, de nouvelles questions de recherche ont été identifiées au cours des 10 dernières années. Elles relient désormais de façon plus explicitée la biodiversité aux services de l'écosystème (MEA[144], 2005) pour le bien-être de l'humanité. Au-delà du fait de

---

[139] Jules Pretty, 2008. «Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence», Philosophical Transactions of the Royal Society B, 363(1491): pp. 447-465.

[140] Document "Agroécologie et droit à l'alimentation", A/HRC/16/49, du Rapporteur spécial sur le droit à l'alimentation, Olivier De Schutter soumis à la 16ème session du Conseil des droits de l'homme de l'ONU, 23p.

[141] Jules Pretty *et al.*, 2006. «Resource-conserving agriculture increases yields in developing countries», *Environmental Science and Technology*, 40(4): pp.1114-1119.

[142] FAO (2011) The state of food insecurity in the world. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. http://www.fao.org/docrep/014/i2330e/i2330e.pdf

[143] Poppy GM, Jepson PC, Pickett JA, Birkett MA. 2014 Achieving food and environmental security: new approaches to close the gap. *Phil. Trans. R. Soc. B* 369: 20120272. http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2012.0272

[144] Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and human wellbeing: synthesis. Island Press, Washington

mieux comprendre les réseaux vivants dans lesquels évoluent et se régulent les bioagresseurs au sein des agroécosystèmes, il devient de plus en plus important de considérer comment ces interactions biotiques participent à l'épuration de l'eau, au stockage du carbone dans les sols, etc., en analysant la diversité des services perçus et rendus par ces agroécosystèmes. Partant de cette conceptualisation, une orientation fonctionnelle est donnée par certains chercheurs à l'agroécologie dans le but par exemple de réduire les pollutions en s'intéressant particulièrement aux cycles de l'azote, du carbone et du phosphore. Cette agroécologie fonctionnelle nécessite un changement d'échelle pour bien comprendre l'espace dans lequel s'opèrent les régulations biologiques et écologiques entre parcelles. L'échelle des paysages devient alors pertinente à ce renouveau de l'agronomie pour inventer une agroécologie des paysages qui aura sans doute beaucoup à puiser dans la géoagronomie de Deffontaines[145] (1998).

Même cela n'apparait pas encore de façon évidente, le clivage historique entre agronomie et écologie est en train d'être dépassé. En ce sens, l'agroécologie se présente comme un nouveau domaine de recherche intéressant et prometteur. D'une part, il oblige à un changement de paradigme sur le modèle agricole pour revisiter la production non seulement de biens mais aussi de services ce qui présuppose à moyen terme des avancées scientifiques potentielles (Jackson *et al.* [146], 2007). D'autre part, l'ancrage de l'agroécologie fonctionnelle dans le champ de la gestion et de la prévention des risques favorisera très sûrement de nouvelles applications à court et moyen terme grâce à la montée d'une ingénierie écologique.

Cette mise en perspective l'agroécologie dans la convergence des concepts et des méthodes de l'écologie et des sciences agronomiques montre que leur application aux agroécosystèmes, pour parler globalement des écosystèmes anthropisés liés à l'agriculture, l'élevage et la sylviculture, suppose de prendre en compte la diversité biologique à tous ses niveaux d'organisation et de fonctionnalité pour comprendre la dynamique du vivant et son rôle dans les services écologiques (Jackson *et al.*[147], 2010).

Néanmoins, le recours accru dans les systèmes agricoles à des régulations biologiques et écologiques que l'on cherchera à valoriser et à piloter nécessite plus que la convergence entre l'écologie et les sciences agronomiques. Du point de vue théorique et conceptuel pour avancer vers ce changement de paradigme, les transitions attendues et les recompositions de systèmes agricoles nécessitent une intégration des connaissances non

[145] J-P. Deffontaines, 1998. Les sentiers d'un géoagronome, Editions Arguments, Paris, 360p.

[146] Jackson L.E., Pascual U., Hodgkin T., 2007. Biodiversity in agricultural landscapes: investing without losing interest. Agriculture, Ecosystems and Environment, 121 (3), 196-210.

[147] Jackson L., et al., 2010. Biodiversity and agricultural sustainagility: from assessment to adaptive management. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2, 80-87.

seulement entre l'écologie et l'agronomie, mais aussi un lien renouvelé avec la biologie, les sciences de la terre et, les sciences humaines et sociales (Van Dam[148] *et al*, 2012).

Pourquoi conduire des recherches en agroécologie pour un géographe dans ce contexte?

L'émergence de l'agroécologie, tant comme discipline scientifique que comme mouvement social, questionne l'évolution des pratiques agricoles et des habitudes alimentaires dans nos sociétés. Cette analyse passe le plus souvent par une évaluation a posteriori des impacts, notamment sur l'environnement, qui conduit généralement à un constat d'échec des différentes politiques mises en œuvre pour assurer la durabilité des systèmes agricoles et alimentaires.

Marc Jollivet[149] écrivait en 2001 à propos du PIREN (Programme interdisciplinaire de recherche sur l'environnement du CNRS): «*Le terme d'environnement ne définit pas un objet de recherche. Il s'agit donc d'abord pour le PIREN de construire cette notion comme champ pour une pratique de recherche, c'est-à-dire d'en fournir des transcriptions « opératoires » sur un plan scientifique.*». Toujours en parlant du terme environnement, Alain Pavé (2001) [150] s'inquiétait: «*Comment effectuer un véritable travail de recherche sur un objet dont on a du mal à tracer les contours et, par là même, à définir le contenu?*»

Il est clair que 25 ans après le démarrage de ce programme interdisciplinaire au CNRS, nous nous trouvons une nouvelle fois face à l'émergence d'un concept, l'agroécologie, approprié par de nombreuses disciplines ce qui le rend d'autant plus polysémique. Mais vouloir considérer l'agroécologie uniquement comme un concept risquerait d'en limiter les enjeux sans pouvoir aborder les dynamiques des modèles agricoles dans leur pluralité et leur complexité pour rendre compte de leurs dimensions techniques, économiques que sociales. Les bases théoriques pour définir l'agroécologie reposent pour beaucoup sur les travaux de M. Altieri[151],[152](2002, 2003) et de R.S. Gliessman[153] (1990) qui montrent dès le début une dimension politique forte de résistance à un modèle de développement agricole

[148] Denise Van Dam, Michel Streuth, Jean Nizet et Pierre M. Stassart (Coord.), 2012. Agroécologie, entre pratiques et sciences sociales. Educagri Editions, FR-Dijon, 309p.

[149] Marc Jollivet, « Un exemple d'interdisciplinarité au CNRS : le PIREN (1979-1989) », *La revue pour l'histoire du CNRS* [En ligne], 4 | 2001, mis en ligne le 20 juin 2007, consulté le 17 février 2014. URL : http://histoire-cnrs.revues.org/3092

[150] Alain Pavé, « Deux programmes de recherche sur l'environnement dans les années 1990-1998 : le programme Environnement, puis le programme Environnement, Vie et Sociétés », *La revue pour l'histoire du CNRS* [En ligne], 4 | 2001, mis en ligne le 20 juin 2007, consulté le 17 février 2014. URL : http://histoire-cnrs.revues.org/3132

[151] Altieri MA, 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93, 1-3, 1-24.

[152] Altieri MA, 2003. Ethical dimensions of agroecology criticism to agrobiotechnology. *Acta bioethica*, 9, 47-61.

[153] Gliessman SR, 1990. Agroecology: researching the ecological basis for sustainable agriculture. *Ecological Studies*, 78, 3-10.

porté par « la Révolution Verte » avec un recours massif aux intrants chimiques et un accroissement de la mécanisation.

Afin de ne pas se retrouver prisonnier de cette lecture, il est possible de proposer un cadre élargi où l'agroécologie deviendrait un espace pour penser les transformations et les changements en agriculture. Il s'agirait alors de revenir aux fondements de l'agriculture comparée portée par René Dumont (Cochet[154], 2011) afin « *d'étudier les traits essentiels de l'agriculture de différentes unités géographiques en vue de rechercher les possibilités d'amélioration*…». Penser au travers de l'agroécologie peut permettre de s'extraire du seul paradigme de développement agricole ci-dessus (Dufumier[155], 1996) afin de mieux pouvoir en percevoir des alternatives dans l'analyse des pratiques d'agriculteurs (Etienne[156], 2003 ; Gabas[157], 2002). Considérant que le lien aux ressources naturelles constitue justement l'une des dimensions majeures dans la différenciation et la caractérisation des différents modèles de production, l'agroécologie peut alors être mobilisée pour étudier la durabilité des modes de production dans les trajectoires de développement et ce en faisant référence à des situations agraires dans des contextes géographiques et agricoles très différents (Dufumier[158], 2004).

Cette direction donnée aux recherches considère l'agroécologie pour l'action avec un regard sur les acteurs qui la pratiquent. Centrer notre approche sur la question du développement durable des agricultures, en développant une approche d'agriculture comparée sur différentes régions du monde, doit servir à interroger les modèles agricoles sur leurs capacités à préserver et à gérer sur le long terme les ressources naturelles. Cette question des acteurs et de leurs activités nous conduit directement au territoire (Benoît[159] *et al*., 2006).

3.1.1 La prise en compte de l'agrobiodiversité dans les innovations agroécologiques

Si nous souhaitons analyser la place qu'occupe l'agrobiodiversité dans les innovations agroécologiques, il est important auparavant de bien positionner l'agroécologie par rapport aux autres « modèles » agricoles tels que: l'agriculture conventionnelle, l'agriculture raisonnée, l'agriculture de conservation, l'agriculture biologique, l'intensification écologique, ou encore l'agriculture intégrée.

---

[154] Hubert Cochet, 2011. L'agriculture comparée. Ed. QUAE, NSS-Dialogues, 159p.

[155] Dufumier Marc, 1996. Les projets de développement agricole. Manuel d'expertise. Karthala, Paris, 354p.

[156] Etienne Gilbert, 2003. Le développement à contre-courant. Presses de Sciences Po, Paris, 148p.

[157] Gabas Jean-Jacques, 2002. Nord-Sud : l'impossible coopération ? Presses de Sciences Po, Paris, 117p.

[158] Dufumier Marc, 2004. Agricultures et paysanneries des Tiers mondes. Karthala, Paris, 598p.

[159] Benoît M., Deffontaines J-P. et Lardon S., 2006. Acteurs et territoires locaux : vers une géoagronomie de l'aménagement, INRA éditions, 174p.

L'agroécologie est née au début du XX^{ème} siècle avec les travaux de Bensin (1935[160], 1938[161], 1951[162]) qui mentionne pour la première fois le terme dans ses publications. Pendant quasiment les 100 ans qui ont suivi, l'agroécologie a évolué pour s'éloigner de plus en plus de son orientation initiale d'écologie appliquée. Cette évolution a dans le même temps coïncidé avec un changement d'échelle depuis la parcelle vers l'agroécosystème (Altieri *et al*[163], 1983 ; Conway[164], 1987).

Aujourd'hui l'utilisation du terme agroécologie n'est plus seulement liée aux champs associés à la production agricole mais il s'insère dans un contexte plus global de systèmes alimentaires, considérant les aspects des systèmes liés à l'agrobiodiversité (Altieri[165], 1999) pour promouvoir une agriculture saine à même de contribuer à une alimentation diversifié (Gliessman[166], 2007). Durant son évolution, l'agroécologie a su intégrer différents concepts pour s'adapter aux évolutions des représentations de l'agriculture et le courant latino-américain de l'agroécologie est très marqué par la reconnaissance des formes d'agriculture familiale et leur connexion [ou pas] aux marchés dans un cadre de souveraineté alimentaire des Etats (Altieri[167], 2002 ; Altieri and Anderson[168], 1986).

Cette analyse historique nous permet de mieux positionner les concepts associés aux étapes du développement de l'agroécologie. L'essor de l'agroécologie a été basé sur une vision écologique du système agricole en opposition au développement d'une agriculture industrielle reposant sur le recours à de nombreux intrants, et parmi eux les engrais chimiques. Cette orientation de l'agriculture dite conventionnelle vers une agriculture industrielle s'est poursuivie durant la « Révolution Verte » même si un changement de paradigme s'est progressivement amorcé dans les années 70' pour prendre en compte l'accroissement continu de la population mondiale et sa conséquence immédiate, la nécessité de produire toujours davantage d'aliments. Malgré l'impact des deux chocs

[160] Bensin, B.M., 1935. Agroecological exploration in the Soto La Marina Region, Mexico. *Geographical Review* 25 (2), 285–297.

[161] Bensin, B.M., 1938. Agroecology as a Basic Science of Agriculture.

[162] Bensin, B.M., 1951. Agroecological world geography. *Biologia*.

[163] Altieri, M.A., Letourneau, D.K. and Davis, J.R., 1983. Developing sustainable agroecosystems. *BioScience* 33, 45–49.

[164] Conway, G.R., 1987. The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems* 24, 95–117.

[165] Altieri, M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74 (1–3), 19–31.

[166] Gliessman, S.R., 2007. Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems. New York: CRC Press, Taylor & Francis.

[167] Altieri, M.A., 2002. Agroecology: The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93 (1–3), 1–24.

[168] Altieri, M.A. and Anderson, M.K., 1986. An ecological basis for the development of alternative agricultural systems for small farmers in the Third World. *American Journal of Alternative Agriculture* 1, 30–38.

pétroliers de 1973 et 1979 sur l'agriculture, cette vision productiviste n'a jamais réussi à faire face à la demande alimentaire mondiale liée à l'augmentation progressive de la population. Aujourd'hui ce paradigme de la nécessité de recourir à un accroissement de productivité agricole pour nourrir l'humanité reste encore très présent et fonde le discours alarmiste de certains décideurs en charge d'élaborer les politiques agricoles.

Le Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992 marque un tournant avec l'installation sur la scène internationale du concept de développement durable (Brundtland[169], 1987 ; Sachs[170], 1997). Pourtant, malgré sa reconnaissance mondiale, le concept n'a pas immédiatement percé dans le champ de l'agriculture. En effet, le monde agricole ne s'est pas emparé du concept de développement durable pour changer sa vision « énergétique » de la production ni pour questionner les points de vue sur la manière de produire. Ainsi, à peine démarrèrent les études d'impacts environnementales appliquées à l'agriculture dans les années 90' qu'elles disparurent, comme ce fut le cas pour les bilans 3E (Economique – Ecologique – Energétique).

Aujourd'hui, il existe dans le monde scientifique une profusion de définitions qui se rapportent à la durabilité de l'agriculture. Il n'est pas possible de définir ici l'ensemble des champs qui permettent de décrire l'agroécologie et les autres formes d'agricultures durables, avec les théories et les concepts mobilisés, toutes se sont construites en opposition à l'agriculture industrielle. L'ensemble est très vaste car il regroupe aussi bien l'agriculture biologique, l'agroécologie, l'agriculture de conservation, la permaculture, l'agriculture biodynamique que différents gradients d'une agriculture dite raisonnée[171]. Basé au départ sur une logique de préservation de l'environnement, les agricultures durables ont en commun le même objectif de diminuer les intrants chimiques acquis à l'extérieur de l'exploitation agricole en ayant recours à une autoproduction d'intrants considérés comme « naturels » (engrais vert, compost, etc.). Cette indépendance génère un abaissement des charges qui peut résoudre une partie des problèmes socio-économiques de l'exploitation. Selon les formes d'agricultures durables, certaines mettent leur focus sur la résolution des problèmes environnementaux tandis que les autres essaient de concilier cela avec l'autonomie économique des exploitations agricoles, y compris l'autosuffisance alimentaire dans certains cas.

Cette analyse fait ressortir deux points essentiels pour mener une analyse comparative : d'un côté la question de l'échelle d'intervention (de la parcelle à l'agroécosystème, ou au territoire) et de l'autre côté la finalité unique de production agricole ou la multifonctionnalité des agricultures avec un focus important sur les systèmes alimentaires

[169] Brundtland, G. H., 1987. Notre avenir à nous tous. Commission mondiale pour l'Environnement et le Développement.

[170] Sachs, I., 1997. L'écodéveloppement. Syros, Paris.

[171] Charvet J-P, Croix N, Diry J-P, 2004. Agriculture durable et développement durable de territoires ruraux en France », *Historiens et Géographes*, 387 : 217-229.

(Machado, Santili et al. 2008; Jackson, Rosenstock et al. 2009). Cette distinction est importante car elle aborde deux perceptions différentes de l'agriculture où s'opposent une « intensification écologique » et une « intensification agricole durable ». Les outils mobilisés seront alors différents dans leur façon de considérer l'apport d'une écologie appliquée à la durabilité des agricultures selon la population cible et l'objectif assigné à ce recours à l'écologie.

L'approche de l'agroécologie telle que nous souhaitons la mobiliser pour la prise en compte de l'agrobiodiversité dans les innovations repose sur son caractère pluridisciplinaire (agronomie, géographie, sociologie, économie…)[172] et multiscalaire (parcelle, agroécosystème, système alimentaire) (Altieri, 1989 ; Bensin, 1928 ; David, Wezel, Bellon *et al*, 2011 ; Francis et al, 2003 ; Friederichs, 1930 ; Gliessman, 2007 ; Odum, 1969).

En outre, l'agroécologie est de plus en plus souvent retenue dans les arènes politiques pour la présenter comme une alternative de développement agricole. Una entrée par la géographie rurale devrait permettre de s'éloigner d'une opposition entre agronomie et écologie pour avancer dans le champ de la construction des innovations avec la valorisation des savoirs traditionnels des communautés agricoles (Chevassus-au-louis et Bazile, 2008). Cette perspective donnée à l'agroécologie permettra plus facilement d'incorporer au débat les concepts de vulnérabilité, de stabilité et de capacité d'adaptation et de transformation pour avancer dans le courant de la résilience appliquée à l'agroécosystème. L'intégration de ces concepts et la combinaison des savoirs paysans et scientifiques conduiront à une vision plus sociale de l'agroécologie.

Quelques grands principes ont fondé le concept d'agroécologie au cours du temps (Altieri, 1995 ; Reijintjes, Haverkot et Water-Bayer, 1992). La prise en compte de la biomasse produite à l'échelle de la parcelle, puis de l'exploitation agricole, a conduit à optimiser la disponibilité des nutriments en analysant leurs flux et en favorisant le recyclage des matières organiques. Cette entrée dans l'agroécologie par les « matières premières » nécessaires à la croissance des plantes s'est fortement ancrée au paradigme de la rareté des ressources pétrolières afin de proposer une réduction drastique de l'usage d'intrants externes issus de la chimie de synthèse (engrais, pesticides et pétrole). Afin de garantir des conditions favorables pour la croissance des cultures, une réflexion a été entamée pour minimiser les pertes de matière organique et stimuler l'activité biologique du sol. L'agrobiodiversité a alors été mobilisée pour la construction des innovations aussi bien sur le plan de la gestion du couvert végétal (microclimat et protection des sols) que sur le plan de la production de biomasse végétale et de l'activité biologique du sol. La combinaison des choix technico-économiques (notamment une meilleure intégration agriculture-élevage) devrait permettre de rechercher les complémentarités individuelles et les actions collectives à développer au sein du territoire. La démarche en agroécologie à l'échelle locale (parcelle, exploitation agricole) met en lumière la nécessité de favoriser la diversification biologique (diversité génétique, diversité spécifique) de l'agroécosystème

[172] Tomich et al, 2011 ; David, Wezel, Bellon et al, 2011

dans l'espace et le temps. On note en effet une très grande interdépendance entre les parcelles d'un bassin versant pour les processus biologiques en jeu en agriculture. Considérer l'agroécologie à l'échelle des paysages permettra de promouvoir les interactions et les synergies biologiques bénéfiques entre les composantes de l'agrobiodiversité (Tichit, Bellon et al. 2010 ; Weiner, Andersen et al. 2010).

Ce pilotage des systèmes à l'échelle des agroécosystèmes démontre l'importance de se doter d'outils qui permettent à la fois la prise en compte du temps court et du temps long. La valorisation de la biodiversité en tant que telle et des complémentarités spatio-temporelle entre ressources biologiques amènera nécessairement à revisiter le concept d'exploitation des ressources. En effet, l'agroécologie des paysages devra comprendre les caractéristiques locales afin de stimuler cette variabilité pour l'exploration de nouvelles situations de production à même de conférer résilience et stabilité aux systèmes (Jackson 2002 ; Koohafkan *et al.*, 2011 [173]). Travailler à l'échelle des paysages, et de l'agroécosystème en particulier, implique la reconnaissance initiale de l'interdépendance des acteurs du territoire et de l'incertitude comme élément clé pour la mise au point des innovations techniques (Bell and Stassart 2011). La conception de systèmes durables dans un environnement complexe sera facilitée par la construction des problèmes et la recherche de solutions avec l'ensemble des publics concernés par ces problèmes (Ploeg 2008; Wittman, Desmarais et al. 2010 ; Hassanein and Kloppenburg 1995). Les méthodologies et dispositifs de recherche participatifs permettent de créer des connaissances et des capacités collectives (Richards 1993 ; Wynne 1996). Une telle approche favorise l'adaptation en constituant progressivement des réseaux d'apprentissage (Hatchuel 2000; Hubert 2002; Thompson 1997; Pimbert, Boukary et al. 2011).

3.1.2 L'objet agrobiodiversité au centre des systèmes agraires, des systèmes semenciers et des systèmes alimentaires

Comme nous venons de le voir, la question de l'agroécologie se situe dans un débat plus large que celui de la production agricole puisqu'il oblige à poser un regard nouveau sur la durabilité de nos systèmes agro-alimentaires. En effet, parmi les millions de personnes qui souffrent de faim au niveau mondial, plus de la moitié sont des petits agriculteurs ou des travailleurs agricoles qui vivent dans des zones rurales. Le « paradoxe de Sikasso » (Dury et Bocoum, 2012[174]) met en lumière le fait que produire en quantité ne suffit pas à résoudre localement les problèmes d'insécurité alimentaire. De plus, la FAO (2011)[175] souligne le fait

[173] Koohafkan, P., M. A. Altieri, et al., 2011. "Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems." International Journal of Agricultural Sustainability: 1-13.

[174] Dury S et Bocoum I, 2012, Le « paradoxe » de Sikasso (Mali) : pourquoi « produire plus » ne suffit-il pas pour bien nourrir les enfants des familles d'agriculteurs ? *Cahiers Agricultures* 21 (5) : 325- 336. DOI : 10.1684/agr.2012.0584

[175] FAO, 2011.The state of food insecurity in the world. How does international price volatility affect domestic economies and food security? Rome, FAO: 57.

qu'une grande partie de ceux qui ne sont pas en situation d'insécurité alimentaire doit faire face à une érosion de leurs revenus et de leur autonomie.

Actuellement, deux logiques opposées d'évolution des systèmes agraires fondent toujours le discours sur le développement rural à savoir un modèle agroécologique et un modèle biotechnologique (Allaire, 2002[176]; Bonneuil et al.[177], 2008 ; Perfecto et Vandermeer[178], 2010).

Ces deux approches soutiennent chacune un paradigme distinct, c'est pourquoi elles se confrontent et polarisent le débat. Pour sortir de cette opposition entre productivité/autosuffisance alimentaire, il est nécessaire de s'éloigner d'une résolution principalement technique et économique du problème pour tenter d'avancer avec une réponse qui intègrera une part sociale. Marsden[179] (2011) le traduit ainsi : «*Comment organiser autrement les systèmes alimentaires face à la diversité et la multiplicité des enjeux et objectifs alimentaires, environnementaux et sociaux ?* »

Sans entrer ici dans les détails, cette dimension sociale peut être abordée de façon transversale sur quelques thématiques clés à l'interface des dynamiques des systèmes agraires, des systèmes semenciers et des systèmes alimentaires :

- La biodiversité est un construit social qui implique de bien considérer sa dimension culturelle (Louafi, Bazile et Noyer[180], 2013). La prise en compte des différences entre communautés culturelles renvoie immédiatement sur les usages et la création d'une agrobiodiversité spécifique mais aussi sur la reconnaissance d'autres modèles et représentations du monde dans lesquels puiser pour construire les innovations agroécologiques de demain (Bazile et Thomet[181], 2013).

- La semence est l'intrant de base indispensable pour conduire toute activité agricole. De tous temps, les agriculteurs ont sélectionné dans leurs champs les

[176] Allaire, G., 2002. "L'économie de la qualité, en ses secteurs, ses territoires et ses mythes." Géographie, Economie et Société **4**(2): 155-180.

[177] Bonneuil, C., Denis, G. *et al.*, 2008. Sciences, Chercheurs et Agriculture. Pour une histoire de la recherche agronomique Paris, Quae, L'Harmattan.

[178] Perfecto, I. and J. Vandermeer, 2010. "The agroecological matrix as alternative to the landsparing/agriculture intensification model". Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 107(13): 5786-5791.

[179] Marsden, T., 2011. "Towards a real sustainable agrifood security and food policy: beyond the ecological fallacies?" *The Political Quarterly*.

[180] Louafi S., Bazile D., Noyer J.L. 2013. Conserver et cultiver la diversité génétique agricole : aller au-delà des clivages établis. In : *Cultiver la biodiversité pour transformer l'agriculture*. Versailles : Ed. Quae, p. 185-222.

[181] Bazile D., Thomet M. 2013. The "curadoras" in the conservation of the Mapuche Quinoa in southern Chile. In : A. Christinck, M. Padmanabhan (eds). *Cultivate Diversity! A handbook on transdisciplinary approaches to agrobiodiversity research* . Germany : Margraf Publishers, p. 104.

semences qui leur étaient nécessaires pour la campagne agricole suivante. De fait, ils ont orienté l'évolution de leurs variétés en effectuant des choix pour favoriser l'adaptation des plantes à leurs microenvironnements ou pour rechercher des caractéristiques particulières liées à des usages. La biodiversité cultivée aujourd'hui témoigne de ce long travail de sélection de générations d'agriculteurs. Après la période de la révolution Verte synonyme de diffusion massive de variétés améliorées par la recherche agronomique, l'essor des biotechnologies marque une nouvelle étape dans les méthodes d'amélioration variétale. Les protections mise en place sur les variétés végétales (Certificat d'Obtention Végétale et Brevet) bénéficient aux obtenteurs dans le but de permettre la rémunération de leur travail de recherche. Ce cadre de la propriété intellectuelle ne reconnait pas, ou peu, les droits des agriculteurs à utiliser comme bon leur semble les semences qu'ils autoproduisent. De plus, le recours aux biotechnologies dans le cadre de l'amélioration variétale modifie la perception générale de ce qu'est l'amélioration au point que l'agriculteur n'est plus reconnu pour son travail de sélection (Levidow et Boschert[182], 2008).

- Au niveau mondial, l'agriculture consomme 70 % de l'eau extraite à des fins de consommation humaine c'est pourquoi le système agroalimentaire global est une source majeure de dégradation de la terre, des forêts, des réserves piscicoles et de l'eau. La prise en compte des effets du changement climatique sur la production agricole oblige les chercheurs à travailler selon plusieurs voies pour apporter une réponse en termes d'adaptation des agricultures aux changements globaux. Parmi les voies privilégiées, l'économie d'eau est une entrée possible non seulement du point de vue technique pour limiter les pertes en utilisant des technologies plus efficientes mais aussi le recours à la biodiversité agricole avec la recherche d'espèces (et de variétés) et/ou de combinaisons d'espèces capables de mieux valoriser les apports d'eau lorsqu'ils sont limités (Mayes et al[183], 2012; Ruiz *et al*[184], 2014).

- Comme nous l'avons vu auparavant, le paradigme issu de la Révolution Verte basé sur un accroissement continu de la productivité pour faire face à l'augmentation de la population mondiale n'a toujours pas permis de résoudre les problèmes de sécurité alimentaire alors que de nouveaux défis liés à l'alimentation surgissent (Dwivedi *et al*[185], 2013). En effet, la réponse par les rendements focalise sur l'idée

[182] Levidow, L. and K. Boschert, 2008. "Coexistence or contradiction? GM crops versus alternative agricultures in Europe." *Geoforum* 39(1): 174-190.

[183] Mayes S, Massawe FJ, Alderson PG, Roberts JA, Azam-Ali SN, Hermann M., 2012. The potential for underutilized crops to improve security of food production. *J Exp Bot* 63:1075–1079.

[184] Karina B. Ruiz et al., 2014 (online first). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agron. Sustain. Dev.* DOI 10.1007/s13593-013-0195-0

[185] Dwivedi SL, Sahrawat KL, Upadhyaya HD, Ortiz R (2013) Food, nutrition and agrobiodiversity under global climate change. Adv Agron 120:1-128. doi:10.1016/B978-0-12-407686-0.00001-4

> du progrès génétique continu. Cette posture engendre une représentation faussée en considérant que la hausse des rendements constitue de fait un progrès sans considérer sur le plan génétique ce que la variété a perdu par ailleurs. Ce constat nous ramène de nouveau à la définition de ce qu'est produire mieux et non pas toujours plus. Dans le cadre d'une réflexion plus globale sur la sécurité alimentaire, il est important de repositionner cette notion de progrès sur la sécurité nutritionnelle et sur la sécurité sanitaire.

Les perspectives ouvertes par une analyse intégratrice des systèmes agraires, des systèmes semenciers et des systèmes alimentaires correspondent bien à une contribution possible de la géoagronomie à une gestion intégrée des territoires.

La complémentarité et la richesse du dialogue entre géographes et agronomes, entretenu depuis des décennies, ne sont plus à démontrer. La participation de la géoagronomie au développement rural local en tant que démarche prend aujourd'hui tout son sens avec la redécouverte des « nouvelles » fonctions dévolues à l'agriculture avec gestion de l'espace rural et du cadre de vie, la protection de l'environnement et des paysages, etc.

La pratique de la recherche en géoagronomie repose sur un souci constant de lier le fait technique avec les dimensions sociales et spatiales. Tout comme dans la démarche éco-régionale de la recherche agronomique, la reconnaissance de ces deux dimensions impose de considérer l'innovation comme étant avant tout un processus social localisé. D'où la nécessité pour la recherche de construire ou d'expliciter puis d'accompagner cette demande sociale en donnant toute leur place aux acteurs locaux pour replacer systématiquement la connaissance produite dans le réel des partenaires locaux, à savoir la représentation partagée d'un territoire.

La réflexion sur une gestion intégrée et adaptative donne une place importante aux acteurs locaux dans les processus de prise de décision les concernant. Sur un plan méthodologique, cela oblige à repenser la mise en place de coordinations sociales « horizontales » (où les espaces et les ressources communes sont partagées entre des agents) et « verticales » (par exemple dans le cas des filières semencières). Une approche qui considère les organisations et les institutions s'avère nécessaire pour comprendre les liens de pouvoirs et de dépendances entre elles, mais aussi pour analyser comment, selon les modes de gouvernance, les normes et règlementations se définissent et se mettent en place. Autant que faire se peut, les acteurs en présence utiliseront aussi la structuration de l'espace pour analyser et simuler, de façon dynamique, les interactions entre les hommes et la ressource dont la gestion est questionnée.

La démarche repose sur un processus d'apprentissage pour tous où la recherche se focalise sur un problème clef de gestion des ressources naturelles locales, issue d'un diagnostic partagé et d'une construction collective de la demande [de recherche]. Pour cela, l'approche fait appel à une méthode et à des outils facilitant l'intégration interdisciplinaire et multi-échelles des connaissances, afin d'aider à la coordination et à la négociation entre

les différentes parties concernées. La modélisation d'accompagnement répond à ce schéma d'une recherche participative pour l'action.

Considérer que l'objet agrobiodiversité se place au centre et à l'interface des systèmes agraires, des systèmes semenciers et des systèmes alimentaires implique de considérer de façon différente les méthodes et outils au service d'une posture de recherche-action pour un dialogue élargi entre acteurs et disciplines. C'est pourquoi la notion « d'émergence » telle que définie dans les sciences de la complexité est intéressante car elle permet de reposer les questions scientifiques au moyen de l'étude systémique des interactions entre entités élémentaires et organisations dans le cadre d'une démarche ascendante. Au-delà du regard porté sur les ressources, dont l'agrobiodiversité, il s'agit de caractériser les mécanismes de prise de décision pour chaque type d'agent, les relations qu'ils entretiennent entre eux notamment en termes de contrôle et de coordination (coopération, négociation, etc.) et les moyens de communications existants pour quels types de messages échangés.

La complexité appliquée ici à l'étude de l'agrobiodiversité dépasse le cadre travaillé jusque-là dans l'étude des systèmes semenciers. Placer l'objet agrobiodiversité entre au centre des systèmes agraires, des systèmes semenciers et des systèmes alimentaires modifie complètement le regard porté sur cette biodiversité. Réussir cette évolution pourrait, permettre de servir de «passeurs de frontières » entre de nombreuses disciplines en acceptant d'affronter la complexité du réel. Il s'agirait alors de continuer à cultiver une identité disciplinaire mais en disposant d'un «passeport multiple» délivré grâce à cette reconnaissance d'activités imbriquées entre différents systèmes. Ceci prendrait d'autant plus de sens à l'heure où les excès de la spécialisation scientifique et la raréfaction des «ensembliers» conduisent la société civile à interpeller vigoureusement le monde de la recherche sur des questions auxquelles les démarches disciplinaires ne peuvent apporter de réponse. Ainsi, la modélisation participative permettrait de mettre à l'épreuve collectivement des modèles de gestion alternatifs pour aborder des questions complexes comme la résilience des systèmes, l'adaptation aux changements globaux, les services écosystémiques, etc.

3.2 Le quinoa sort des Andes : enjeux et controverses

« *Demain ne sera pas comme hier.*
Il sera nouveau et il dépendra de nous.
Il est moins à découvrir qu'à inventer.**»**
[**Gaston Berger**]

Originaire des Andes, le développement de la culture de quinoa a connu un boom dans les années 1990'-2000' en s'inscrivant dans le segment de marché du commerce bio-équitable des pays du Nord. Aujourd'hui, la reconnaissance des qualités nutritionnelles du quinoa par un nombre de plus en plus important consommateurs consolide un marché d'exportation pour la Bolivie et le Pérou, les deux premiers pays exportateurs (Vassas[186], 2011à. Cela contribue aussi à la diffusion de sa culture sur tous les continents (Amérique du Nord, Europe, Afrique, Asie) (NRC[187], 1989). Le développement de la culture dans son contexte andin d'origine, tout comme l'extension de son aire de distribution, posent des questions importantes sur lesquelles de nombreuses controverses et polémiques méritent d'être mise en débat en particulier la durabilité écologique et sociale des systèmes agraires, la conservation des ressources génétiques et les droits de propriété intellectuels associés aux variétés paysannes et/ou issues de la recherche agronomique, le rôle du quinoa dans la sécurité alimentaire localement et ailleurs dans le monde, sa participation à l'éradication de la pauvreté, etc.

3.2.1 Problématique générale et questions de recherche

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est une plante cultivée originaire de la zone andine qui connait aujourd'hui une rapide expansion de son aire de culture à l'échelle mondiale (Galwey[188], 1993 ; Jacobsen[189], 2003). Les abords du Lac Titicaca sont considérés comme le centre d'origine principal de l'espèce à partir duquel l'espèce aurait été domestiquée il y a 7000 ans. Elle s'est ensuite dispersée au fil des migrations humaines pour être progressivement adaptée par les agriculteurs à d'autres contextes de culture en s'étendant sur les actuels Bolivie, Pérou, Chili, Argentine, Equateur et Colombie (Figure 33). On

[186] Vassas Toral A. 2011. Ruralité et agriculture au prisme des mobilités spatiales. L'Altiplano Sud de la Bolivie à l'heure du boom de la quinoa. Thèse de Doctorat de Géographie. Université Paul Valéry - Montpellier 3. Montpellier, France. 345 p. + annexes.

[187] National Research Council (NRC), 1989. *Lost Crops of the Incas: Little Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation*. National Academy Press, Washington, DC, pp. 148–161.

[188] Galway N.W., 1993. The potential of quinoa as a multi-purpose crop for agricultural diversification: a review. *Industrial Crops and Products*, 1: 101-106.

[189] Jacobsen S.E., 2003. *The worldwide potential of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Food Rev. Int*. 19(1-2):167-177.

reconnait aujourd'hui cinq grand écotypes de quinoa associés chacun à un agroécosystème andin particulier définit au sein un gradient d'altitude et de pluviométrie.

Figure 33. Dynamiques de la biodiversité du quinoa en considérant les sous-groupes de diversité identifiés par analyse génétique (Sub-group I: Vallées Interandines (Inter-Andean Valleys), Sub-group II: Niveau de la mer (Coastal/Lowlands), Sub-group III: Altiplano (Highlands) and Sub-group IV: Salars ou lacs salés d'altitude (Salares). D'après Fuentes et al[190], 2012.

La grande diversité du quinoa préservée *in situ* par les paysans ou *ex situ* dans les banques de germoplasme sert de base à son expansion actuelle. Néanmoins, il est important de s'interroger comment les régulations actuelles sur la circulation de ressources génétiques favorisent ou non son expansion mondiale, et en quoi cela soutient la dynamique de la biodiversité de l'espèce. Répondre à cette question est important pour comprendre comment le passage d'une culture mineure à une culture majeure pour l'agriculture et l'alimentation mondiale peut se faire en conservant le modèle agricole basé sur des

[190] Fuentes F., Bazile D., Bhargava A., Martinez E.A. 2012. Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *Journal of Agricultural Science*, 150 (6) : 702-716.

pratiques agroécologiques traditionnelles, et qui a été un des facteurs de son succès et de sa reconnaissance pour les consommateurs de l'hémisphère nord (PROINPA[191], 2011).

La très haute valeur nutritionnelle du grain de quinoa a dès les années 70' suscité l'intérêt des pays du Nord, en particulier dans le cadre de régimes sans gluten ou végétariens. Dans les années 90' considérées comme le boom du quinoa, la certification en agriculture biologique a donné une nouvelle valeur à ce grain appelé « riz des Incas » et plus récemment, les filières du commerce équitable ajoutent une image ethnique au produit sur les marchés. Ces deux certifications permettent une meilleure rémunération des producteurs et un engagement du consommateur pour orienter certaines pratiques de production. La forte demande de quinoa sur les marchés internationaux incite de nombreux pays à expérimenter sa culture alors qu'ils n'étaient pas importateurs (Mujica[192] et al, 2001). En effet, la grande plasticité écologique du quinoa lui permet une adaptation à de nombreux environnements permettant ainsi de faire face à des contraintes émergentes telles que la salinisation croissante des terres arables et les effets du changement climatique. Les pratiques agroécologiques des systèmes de production andins utilisent les différents niveaux de la biodiversité génétique (multiples variétés locales ou *landraces*), spécifique (association d'espèces et intégration avec l'élevage) et écosystémique (utilisation de multiples étages écologiques). Pourtant, les dynamiques actuelles rendent instables cet équilibre.

L'objectif général de cette partie de ma synthèse est d'accompagner le lecteur dans sa réflexion pour chercher à comprendre les enjeux et menaces liés au fait que le quinoa sorte des Andes. Pour cela, notre propos sera structuré autour des quatre thématiques suivantes qui reprennent les éléments clés de la déclaration de l'année internationale du quinoa (IYQ)[193]:

- la reconnaissance des peuples andins dans la création et la conservation de la biodiversité du quinoa en lien avec la création et le maintien de la biodiversité
- les pratiques agricoles traditionnelles sont en harmonie avec la nature ;
- l'importance de la biodiversité du quinoa pour la sécurité alimentaire compte tenu de sa haute valeur nutritive ;
- l'éradication de la pauvreté et la promotion du quinoa en dehors de la zone andine.

La déclaration de l'IYQ reconnait que «*grâce à leurs connaissances et pratiques traditionnelles, les peuples indigènes des Andes ont entretenu, contrôlé, protégé et préservé quinoa dans son état naturel, y compris ses nombreuses variétés locales cultivées, comme*

[191] PROINPA (2011) "Quinoa, an ancient crop to contribute to world food security". Technical report. 37th FAO Conference. http://www.fao.org/alc/file/media/pubs/2011/cultivo_quinua_en.pdf. Accessed 4 Oct2013

[192] Mujica A, Jacobsen S-E, Izquierdo J, Marathee, 2001. *Quinua (Chenopodium quinoa Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*, FAO-RLC Santiago de Chile, UNA-Puno, CIP.

[193] http://www.fao.org/quinoa-2013/fr/

nourriture pour les générations présentes et futures". Cette déclaration bien que très importante dans sa portée mérite une attention particulière car en considérant dans son énoncé « les peuples indigènes de Andes » dans leur ensemble, elle contribue à une représentation biaisée de ce que sont les peuples andins dans leur diversité. C'est pourquoi même si tous les peuples andins ont contribué à la préservation et à la diversification du quinoa, il n'en demeure pas moins que chacun d'eux l'a fait en préservant son identité propre ce qui a justement permis la création de la biodiversité du quinoa à l'échelle des Andes. Ensuite, la période des Indépendances suite à la colonisation espagnole a généré différents Etats-nations qui ne reconnaissaient pas les territoires des peuples indigènes. Il s'est donc créé des frontières entre des peuples d'une même culture du fait des frontières établies souvent selon des limites physiques et non pas culturelles. L'exemple de l'action de l'ONG *Aymaras sin fronteras* essaie de revenir sur ce fait en essayant de revenir sur ces frontières créées entre les peuples. Cette alliance stratégique pour définir un monde *Aymara* repose sur la vision partagée par 57 municipalités de Bolivie, du Chili et du Pérou pour la création d'une zone géographique sans frontières. Elle met en avant la culture traditionnelle *Aymara* pour définir des règles communes de gestion de l'espace et des ressources communes. L'objectif est de construire une vision partagée de développement économique de la région en s'appuyant sur l'agriculture, l'élevage, le tourisme et un accès commun aux ressources naturelles productives afin d'améliorer les conditions de vie de ses habitants. Cette réhabilitation d'un territoire *Aymara* et le questionnement des dynamiques transfrontalières ne sont pas un fait nouveau sur l'altiplano andin (Anne-Laure Amilhat Szary[194], 2006). En effet, les échanges économiques formels et informels à différents points de contact entre pays sur la frontière sont une activité caractéristique des populations *Aymara*. Les villageois de part et d'autre de la frontière trouvent dans leurs références linguistiques communes un moyen de s'approprier les flux commerciaux. Mais l'association de municipalités de trois pays dans l'alliance stratégique *Aymaras sin fronteras* présente une autre particularité. Les dynamiques régionales se politisent jusqu'à relever du domaine de la coopération transfrontalière et de l'intégration régionale. Elles sont rendues visibles par une focalisation progressive sur le critère ethnique comme source de légitimation des demandes. Systématiquement refoulé dans le cadre de la construction des Etats-nations, le fait d'être *Aymara* devient un « passeport » politique pour les peuples indigènes. La reconnaissance de droits collectifs, avec une composante territoriale forte, renvoie à la redéfinition des identités au sein des Etats-Nations, et la possible conformation d'un espace identitaire transfrontalier.

Le regard porté sur cette initiative Aymara doit être replacé et analysé dans un espace plus vaste. En effet, la diversité des rapports à l'indianité selon les pays andins est extrêmement grande. Le résultat peut se lire directement dans une analyse de la démographie actuelle

[194] Anne-Laure Amilhat Szary (2006). L'émergence d'un référent territorial : ethnie, frontière et projet de territoire dans les Andes. Premières Rencontres Internationales du programme CORUS (Les recompositions territoriales et leurs référents), Les territoires à l'épreuve : décentralisation et dévolution, Marrakech, Université Cadi Ayyad, 09 au 11 novembre 2006

de ces pays par groupes ethniques. La part des peuples indigènes dans la population totale des pays andins varie énormément (Lavaud et Daillan[195], 2007). Les pays les plus « européanisés » en termes d'immigration sont le Chili et l'Argentine au Sud où les peuples indigènes restent minoritaires en nombre et en représentation dans les instances de décision des pays. La Bolivie et le Pérou présentent des taux de populations indigènes bien supérieures cela ne doit pas pour autant masquer la réalité de ceux-ci qui se trouvent à plus de 50% dans une situation de grande pauvreté et n'occupent pas toujours pour autant une représentativité aux postes économiques et politiques équivalente à l'importance de leur population. De plus, au sein d'un même pays, les différents groupes ethniques ne sont pas tous considérés à l'identique. Si nous analysons le cas du Chili à titre d'exemple, l'extermination de nombreux peuples indigènes de Patagonie s'est poursuivie bien après l'indépendance du pays. Les populations du Nord, dont les *Aymaras*, s'étant soumise assez tôt à la Couronne Espagnole au moment de la colonisation de ces territoires ont moins souffert par la suite si ce n'est d'acculturation avec l'évangélisation de l'altiplano. Ceci est beaucoup moins vrai pour d'autres peuples indigènes, en particulier les *Mapuche*, qui revendiquent toujours la restitution de leurs territoires ancestraux. Leur opposition permanente aux gouvernements successifs du Chili font que, jusqu'à aujourd'hui, ils sont toujours considérés comme des groupes terroristes potentiels et décrits comme tels dans la Constitution actuelle de 1980 établie sous la dictature du Général Pinochet.

Avoir ce questionnement sur les territoires des peuples indigènes au sein et entre pays andins est important car cela renvoie à d'autres interrogations sur les dynamiques qui sont associées à la réunification de ces peuples. Cette alliance *Ayamaras sin fronteras* peut-elle être un facteur de développement pour des zones marginales en se construisant une identité forte et en mutualisant les coûts du développement économique du territoire ? Ou alors, une telle approche par l'indianité ne risque-t-elle pas, dans un contexte où les postes de pouvoirs sont occupés par des non indiens, de conduire à davantage de marginalisation de ces peuples indigènes ? La question sous-jacente renvoie au fait que les peuples indigènes ont peu de moyens et de capitaux pour servir de levier au développement local. En outre, un territoire construit sur des communautarismes court le risque d'être excluant alors qu'il se situe déjà en zone marginale avec des contraintes extrêmes.

Dans le cadre de la production de quinoa sur les plateaux andins, la reconnaissance complète d'une communauté Aymara tri-pays obligerait à revisiter la notion même de frontières et les droits frontaliers associés concernant la circulation et les échanges de semences entre agriculteurs. Le cas des marchés bipartite (Bolivie-Chili ou Bolivie-Pérou) ou tripartite (Bolivie-Chili-Pérou) attestent de la réalité de ces échanges de semences transfrontaliers tout au long des frontières inter-Etats dans la zone andine. Sachant que pour l'instant les droits des Etats sont supérieurs aux droits coutumiers des peuples indigènes, la réflexion pourra alors se déplacer vers ce que pourrait être une diversification

[195] Jean-Pierre Lavaud et Isabelle Daillant, 2007. *La catégorisation ethnique en Bolivie. Labellisation officielle et sentiment d'appartenance*, Paris, L'Harmattan, 291 p.

de l'identité socio-culturelle des quinoas de demain. Il s'agit alors de comprendre comment la dynamique de création de cette biodiversité du quinoa s'est appuyée sur cette diversité culturelle pour imaginer quelles sont les conditions pour que la dynamique de diversification des quinoas se poursuive *in situ*.

Selon la Résolution 15/2011 (FAO/30C2011/REP) pour la mise en place de l'IYQ, l'Assemblée Générale des Nations Unies reconnaît que ce sont les peuples andins qui ont «*maintenu, contrôlé, protégé et conservé le quinoa avec de nombreuses variétés et races locales*». Cette déclaration en plus haut lieu est très importante car elle reconnait le travail de sélection et d'amélioration de générations d'agriculteurs pour contribuer à créer une diversité cultivée en permanente évolution dans les champs. Malgré ce constat, si la biodiversité conservée *in situ* est très importante elle reste très souvent inconnue car non caractérisée ou simplement non recensée (Louafi, Bazile et Noyer[196], 2013).

Depuis les travaux de S. Brush (1989), la question de l'importance du rôle des agriculteurs dans la conservation des ressources génétiques n'est plus un fait nouveau. Pourtant, sa véritable prise en compte dans les programmes de conservation est encore souvent sous-évaluée et parfois même ignorée. L'évaluation et l'appréciation de la diversité génétique au champ, et en particulier l'héritabilité des caractères, sont un fait de longue date pour les agriculteurs qui cherchent à maintenir et améliorer les variétés héritées de leurs parents. Depuis toujours ils expérimentent, croisent, sélectionnent et utilisent les différences observées pour la génération suivante selon la variabilité qu'ils en perçoivent au sein ou entre les parcelles cultivées de la génération précédente. La diversité des agricultures et des modes de gestion est donc un vaste champ d'expérimentation favorable à la création de variabilité pour l'expression et l'utilisation de nouvelles biodiversités cultivées.

Au-delà d'une utilisation directe de l'agrobiodiversité dans les systèmes de production des agricultures familiales, les variétés traditionnelles constituent le matériel de base utilisé par tous les sélectionneurs pour développer de nouvelles variétés améliorées. De fait, les collections des banques de semences *ex situ* ne représentent qu'une partie de ce qui existait *in situ* à un instant donné dans les champs des paysans et qui a pu être collecté, conservé et qui est toujours vivant. C'est donc principalement sur ce substrat de l'*ex situ* que semble reposer aujourd'hui l'évolution de la production agricole et le futur de l'alimentation d'une majorité des habitants de la planète si aucun changement majeur n'intervient dans l'organisation mondiale de l'agriculture.

Dans le cas du quinoa, différentes collections ont été mises en place par les pays andins pour conserver *ex situ* ce patrimoine agricole (figure 34). Un énorme travail est en cours pour améliorer nos connaissances sur le quinoa en caractérisant toutes ces accessions sur le plan génétique, physiologique, agromorphologique, etc. Aujourd'hui, de nombreuses les banques de semences conservent des accessions de quinoa qui sont en cours de

[196] Louafi S., Bazile D., Noyer J.L. 2013. Conserving and cultivating agricultural genetic diversity : transcending established divides. In : Hainzelin Etienne (ed.). *Cultivating biodiversity to transform agriculture*. Heidelberg : Springer [Allemagne], p. 181-230.

description mais que représentent-elles réellement de la diversité *in situ* ? (CIP-UPWARD[197], 2003)

En effet, même en disposant d'une bonne représentation de la diversité des espèces cultivées et des variétés associées dans les régions à prospecter, il est extrêmement difficile d'accéder à certaines variétés dites mineures (cultivées par peu de paysans et sur de petites surfaces). Pour récolter ces variétés mineures, il est nécessaire d'établir au préalable un lien étroit avec les paysans de la zone et avec les sociétés humaines qu'ils constituent. Réussir à tisser un tel lien de confiance dans tous les villages prospectés, ce qui relève ici de l'utopie, ne peut éthiquement se défendre que si cela constitue un réel avantage pour ces populations (Bazile, Coulibaly et Martinez[198], 2011). Une proposition simple à mettre en œuvre serait d'inclure, à chaque collecte, l'obligation pour le collecteur au nom de la banque à qui il va fournir ces semences, de donner un certificat de traçabilité de ce qu'il reçoit du paysan. Le paysan (et/ou sa communauté paysanne) serait alors reconnu comme fournisseur officiel de semences à une banque bien identifiée. Ce certificat devrait alors inclure toute l'information nécessaire (code d'entrée, numéro de registre) pour pouvoir localiser et retrouver l'accession, ou échantillon de sa variété, dans la banque de semences. Cette première étape exprimerait la reconnaissance du travail de générations de paysans pour créer ces variétés. L'origine paysanne des variétés pourrait alors être mentionnée tout au long du processus d'amélioration pour toute variété construite à partir de cette ressource génétique d'origine paysanne.

L'objectif des prospections étant la conservation des variétés pour éviter une érosion génétique, il est donc important d'inclure dans le matériel collecté les variétés paysannes sur lesquelles repose le plus grand risque de disparition, c'est-à-dire les variétés mineures. Sinon, leur disparition entraînerait automatiquement la perte d'une partie non connue de la diversité génétique de l'espèce.

Compte tenu des différents constats qui précèdent, l'immensité de la diversité *in situ* que gèrent les paysans est donc quasi impossible à caractériser pour diverses raisons. De plus, cette diversité variétale repose sur des variétés de populations, ce n'est donc pas la variété paysanne en tant que telle qu'il est intéressant de décrire mais le pool génétique porté par l'ensemble des variétés du village et sa structuration à différentes échelles de la parcelle au pays ou au biome (Sagnard *et al.,* 2008).

Le fait que la diversité *in situ* soit dynamique n'est pas pour autant garant de la conservation des ressources génétiques (Wood et Lenné[199], 1997; Brookfield et al[200],

---

[197] CIP-UPWARD. *Conservation and sustainable use of agricultural biodiversity*. Los Banos (Philippines): CIP, 2003.

[198] Bazile D., Coulibaly H., Martinez E.A. 2011. Droits des agriculteurs sur leurs semences: le long chemin entre la conservation in et ex situ. *Grain de sel* (52-53) : 15-17.

[199] Wood, D., & Lenne, J. M., 1997. The conservation of agrobiodiversity on-farm: questioning the emerging paradigm. *Biodiversity & Conservation*, *6*(1) : 109-129.

2002). En effet, il est important de relier cette dynamique de la diversité variétale (et génétique) dans les systèmes de culture à la dynamique même de ces derniers. Une évaluation des effets a posteriori de l'IYQ[201] sur les systèmes de cultures à base de quinoa sera importante à mettre en place notamment pour analyser l'hypothèse d'une possible simplification des systèmes pour répondre aux standards internationaux du marché de l'agroalimentaire. Du point de vue de la recherche, cette reconnaissance et demande mondiale du quinoa vont continuer d'avoir des effets sur les agricultures andines. Les pratiques de mélanges variétaux pour gérer le risque climatique et la diversité des systèmes sur un même territoire selon les différentes destinations de la production pourront-elles se maintenir ? La production de quinoa bio-diverse dans des agricultures familiales multiples sera-t-elle toujours permise par un lien au marché international toujours plus ténu ?

[200] Brookfield H, Padoch C, Parsons H, Stocking M. Cultivating biodiversity. London: ITDG Publishing and United Nations University, 2002.

[201] IYQ International Year of Quinoa ou Année Internationale du quinoa en français

Figure 34. Importance et répartition mondiale des banques de semences conservant des accessions de quinoa. © Didier Bazile, 2008. Source : D. BAZILE et F. Baudron, CIRAD, 2013

Figure 35. Domaines d'application des Certificats d'Obtention Végétale sur quinoa.
© Didier Bazile, 2008. Source : D. BAZILE et F. Baudron, CIRAD, 2013

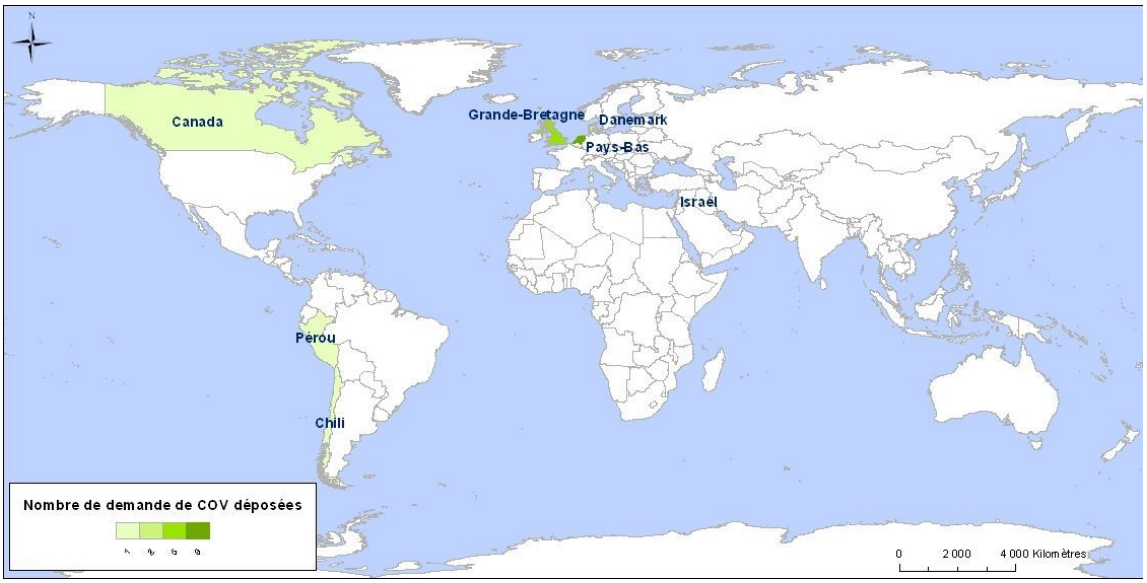


Figure 36. Recensement des obtenteurs de nouvelles variétés de quinoa selon le nombre de Certificats d'Obtention Végétale déposés. © Didier Bazile, 2008. Source : D. BAZILE et F. Baudron, CIRAD, 2013

La question posée ici sur la conservation *in situ* de la biodiversité du quinoa est plus large et rejoint la réflexion générale portée par certains pays sur la possible coexistence de plusieurs modèles agricoles (agriculture familiale *versus* agriculture d'exportation). La différenciation des politiques publiques existe déjà dans différents pays (Brésil, Pérou, etc.). Dans notre cas, il faudra réfléchir pour savoir si cette distinction permet une meilleure valorisation de la diversité des différents écotypes de quinoa. Nous devrons nous interroger sur le fait de savoir si la recherche est capable de prendre en compte les savoirs locaux. Depuis longtemps, les peuples andins ont mis en évidence des fonctions du quinoa et diversifié leurs usages. La reconnaissance par les Nations Unies des savoirs traditionnels de ces peuples indigènes peut-il suffire à les protéger des usages commerciaux qui se mettent déjà en place : cosmétique, pharmacie, médecine, alimentation animale ou humaine, diététique, etc. Comme nous l'évoquions, la biodiversité du quinoa *in situ* est très vaste et donc très difficile à décrire. Seuls les actuels utilisateurs, les paysans andins, seraient à même de la décrire. Il en va de même pour les savoirs traditionnels. La question de leur protection reste toujours d'actualité sachant que les formes de registres de biodiversité existants (Inde, Népal, Brésil, Pérou, etc.) posent encore de nombreuses questions sur leur efficacité en termes d'opposition, en termes de droit, pour afficher une antériorité.

La figure 34 situe sur un planisphère l'ensemble des collections *ex situ* selon le nombre d'accessions de quinoa conservées. Même si les pays andins détiennent les plus grandes collections de matériel génétique. La propagation actuelle du quinoa dans le monde repose d'une part sur les collections établies par ces pays ou sur les solides relations entre les institutions qui partagent leur matériel génétique. De nombreux pays ont mis en place des collections et la majorité de celles-ci ont été mises en place avant la signature à Rio de Janeiro (1992) de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) qui stipule que les États sont souverains sur leurs ressources génétiques. Les triangles rouges sur la carte (figure 34) représentent 25 pays répartis dans le monde entier. Cela signifie maintenant que ces pays peuvent développer de nouvelles variétés à partir de ce matériel génétique sans avoir à en référer à son pays d'origine. Le Protocole de Nagoya (adopté au Japon en 2010) est un accord international qui vise au partage des avantages découlant de de l'utilisation des ressources génétiques d'une manière juste et équitable afin de contribuer à la conservation de la diversité biologique et l'utilisation durable de ses éléments. Dans le cas du quinoa, son utilisation n'est pas pertinente pour les pays andins. Ainsi, ces pays ont besoin d'être actifs dans l'agenda international sur le quinoa pour protéger leurs ressources génétiques et leurs intérêts dans la valorisation de celles-ci (Krishna et al, 2003[202]).

La distribution mondiale des ressources génétiques de quinoa d'origine andine nous ramène à un débat sur l'utilisation de celles-ci dans un contexte marqué par la biopiraterie et leur appropriation, entre autres, par des firmes semencières étrangères. L'application

[202] Krishna VV, Drucker AG, Pascual U, Raghu PT, King Edio, 2013. Estimating compensation payments for on-farm conservation of agricultural biodiversity in developing countries. *Ecol Econ* 87: 110–123.

des politiques nationales de propriété intellectuelle et les régulations internationales (CDB[203], TIRPAA[204], Nagoya, etc.) apparaissent insuffisantes pour réguler la circulation des ressources génétiques, pour favoriser leur conservation, leur valorisation et utilisation, et leur protection juste et équitable. L'expansion géographique au niveau mondial du quinoa se fait en application du cadre international de régulation des semences, c'est pourquoi le nombre de Certificat d'Obtention Végétale (COV) en vigueur dans le monde entier ne cesse de s'accroitre (Figure 35). Il atteint aujourd'hui le nombre de 20. Dans cette répartition, certains pays défendent une politique semencière particulière depuis de nombreuses années. Ils apparaissent aujourd'hui comme les principaux obtenteurs (ou demandeurs de COV) sans pour autant être les principaux producteurs de quinoa à l'échelle mondiale. C'est le cas par exemple des pays suivants : Israël, Danemark, Royaume-Uni, Pays-Bas, le Canada et le Chili (Figure 36).

Le point suivant de la déclaration de l'IYQ met en avant le fait que le maintien de la biodiversité du quinoa par les peuples indigènes andins repose sur une « *harmonie des pratiques agricoles traditionnelles avec la nature* ». Là-encore la présentation d'une agriculture andine uniforme et homogène mérite d'être revisitée pour analyser cette relation des peuples andins à la Nature en référence, souvent, à leur cosmogonie. La région andine est caractérisée par une activité agricole millénaire (Mazoyer et Roudart, 2002). Vavilov (1992) la considère comme l'un des cinq principaux centres historiques de domestication des plantes alimentaires dans le monde. L'agriculture andine est dite traditionnelle car elle a su maintenir et combiner dans l'espace différents aménagements agricoles complexes (terrasses, canaux d'irrigation, association d'espèces, combinaison des étages écologiques, intégration agriculture-élevage, etc.) (Morlon, 1992). Pourtant, au fil du temps marqué par des étapes de grands changements (colonisation, réformes agraires, etc.), l'agriculture andine s'est profondément transformée et demeure toujours actuellement en constante évolution. De profonds bouleversements ont entamé le côté « traditionnel » de ces agricultures toujours à majorité familiale. Depuis les cinquante dernières années, la production de quinoa a fortement chuté pour connaître ensuite le boom récent avec la très forte demande sur le marché international. Les conditions extrêmes de survie des populations sur l'Altiplano, et dans les zones rurales au sens large, ont conduit de nombreux paysans à l'exode rural alimentant ainsi la pauvreté des villes (Bazile et al[205], 2011). Ainsi, l'harmonie avec la nature a subi de nombreuses ruptures. L'essor du marché mondial du quinoa permet aujourd'hui le retour à la terre de certains de ces migrants. On note alors de nombreux conflits liés aux droits ancestraux sur les terres. De même, le boom du quinoa favorise une intensification de l'agriculture avec passage progressif à une agriculture mécanisée. Le labour ne pouvant se faire que dans les plaines,

[203] CDB : Convention sur la Diversité Biologique

[204] TIRPAA : Traité International sur les Ressources Phytogénétiques pour l'Alimentation et l'Agriculture

[205] Bazile D., Carrié C., Vidal A., Negrete Sepulveda J. 2011. Modélisation des dynamiques spatiales liées à la culture du quinoa dans le Nord chilien. *Mappemonde* (102) (article 11204) : 14 p.

le quinoa entre alors en concurrence avec l'élevage des lamas et alpagas. Il génère d'autres conflits sur le partage du foncier entre élevage et agriculture dont l'intégration traditionnelle tend à se distendre. La diminution des apports en matières organiques peut devenir un facteur supplémentaire d'érosion des sols si des mesures préventives ne sont pas envisagées (Bazile[206], 2013 ; Viera-Pak[207], 2012 ; Winkel et al[208], 2012).

Pour répondre à cette évolution des agricultures andines dans un contexte de mondialisation, il est important de replacer la production de quinoa dans le contexte plus large de la gestion intégrée des sols et des territoires. Le maintien d'une intégration traditionnelle ou révisée de l'agriculture et de l'élevage apparait essentiel compte-tenu de la fragilité et de la pauvreté minérale des sols. D'autres pistes provenant de l'agroécologie, et faisant la promotion d'une agriculture intégrée à l'agroécosystème, pourront aussi servir à proposer des alternatives car elles sont plus à même de considérer les apports de l'agrobiodiversité *sensu largo* dans la mise en place d'innovations sociotechniques durables (Bazile[209], 2014).

Avec ces termes « *Destacando que la quinua es un alimento natural de alto valor nutricional"*[210]*,* la déclaration de l'IYQ met en avant le fait que le quinoa est un « super » aliment pour combattre l'insécurité alimentaire dans le monde (Vega-Galvez et al[211], 2010). Malheureusement, le niveau de malnutrition des peuples andins n'est pas corrélé à la haute qualité nutritionnelle du quinoa. Il est donc important de pouvoir repenser ces questions de façon globale en essayant de relier une approche système agraire à celle des systèmes alimentaires. En quoi le prix élevé du quinoa sur les marchés mondiaux permet-il aux producteurs de bénéficier de revenus leur permettant de mieux s'alimenter? Des pays comme le Pérou mettent en place des politiques publiques pour favoriser une consommation nationale de quinoa. Même si les cours mondiaux élevés du quinoa sont critiquables pour l'instabilité qu'ils confèrent au développement agricole qui s'y rattache, il n'en demeure pas moins que l'image positive du quinoa à l'échelle mondiale bénéficie

---

[206] Bazile D. 2013. Développement territorial : le quinoa, un catalyseur d'innovations. Montpellier : CIRAD, 4 p. (Perspective : Cirad, 20).

[207] Viera Pak M. 2012. Le boom de la quinoa dans l'Altiplano Sud de la Bolivie : Transformations agraires, discours et conflits socio-environnementaux, AgroParisTech. Thèse : ABIES / Direction/Encadrement J.F. Tourrand.

[208] Winkel et al. 2012. The sustainability of quinoa production in southern Bolivia: from misrepresentations to questionable solutions. Comments on Jacobsen (2011, J. Agron. Crop Sci. 197: 390-399). Journal of agronomy and crop science 198 (4): 314-319.

[209] Bazile D. 2014. Contesting Blossoming Treasures of Biodiversity article 42: 'Quinoa – is the United Nation's featured crop of 2013 bad for biodiversity?' – Quinoa, a model crop to examine the dynamics of biodiversity within agricultural systems, *Biodiversity*, DOI: 10.1080/14888386.2014.884469 Online first

[210] *… considérant que le quinoa est un aliment naturel à haute valeur nutritive…*

[211] Vega-Galvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L. & Martinez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90, 2541–2547.

aussi à une demande intérieure des pays producteurs. Le quinoa, longtemps considéré comme la nourriture des indiens dans les villes des pays andins, bénéficie aujourd'hui d'une image positive. Néanmoins, les prix élevés le cantonnent souvent à un produit de luxe dans les centres urbains des pays producteurs ce qui limite sa consommation pour une partie de la population. Pourtant, différentes chaînes de distribution ou filières existent où la structuration des prix n'est pas la même. Un approvisionnement direct sur les marchés locaux est tout à fait possible pour bénéficier non seulement d'une relation directe aux producteurs mais aussi d'un tarif préférentiel sur le même quinoa. Il est aussi important de rappeler ici que les questions de sécurité alimentaire et de souveraineté alimentaire se recoupent. Les choix que font les pays concernant la circulation des produits alimentaires pour protéger ou non leurs producteurs des lobbys internationaux de l'agroalimentaire sont ensuite lourds de conséquences, non seulement au niveau des productions agricoles du pays mais aussi des régimes alimentaires des populations.

Parmi les recherches futures, l'intégration de l'agrobiodiversité du quinoa au centre des systèmes semenciers, des systèmes agraires et des systèmes alimentaires devrait permettre de reconsidérer la participation de la biodiversité agricole à un « mieux produire ». Au-delà d'une production d'aliments sains par une agricole durable, une gastronomie de la biodiversité est en train d'émerger. Cette reconnaissance par l'aval depuis les transformateurs (y compris les chefs cuisiniers) et les consommateurs porte une réflexion sur l'apport de la biodiversité à la qualité alimentaire. Ce courant devrait permettre de valoriser le maintien de cette biodiversité *in situ* en diversifiant les usages.

Aujourd'hui, la faible diversité des types commerciaux de quinoas exportés (blanc, rouge, noir) ne permet pas au consommateur de reconnaitre et de participer à la conservation de cette biodiversité. De plus, le transport du quinoa depuis l'Altiplano pour approvisionner les tables de l'hémisphère Nord reste très critiqué. La réponse à donner à cela est complexe car elle touche à la fois aux différents systèmes (semenciers, alimentaires et agraires) de notre approche. Sur le plan alimentaire et environnemental, les modes de production de l'agriculture familiale andine ont moins d'impact environnemental et sanitaire, malgré un voyage en containeur sur près de 10.000 km, qu'un quinoa produit de façon conventionnelle, avec recours aux intrants chimiques, mais produit plus près de ses consommateurs. Les recherches sur l'analyse de cycle de vie (ACV) apparaissent comme une piste intéressante à poursuivre pour mieux comprendre les effets des différents modes de production selon leur localisation géographique.

Cette question ne peut pas être traitée séparément du point suivant de la déclaration de l'IYQ sur la participation possible du quinoa à l'éradication de la pauvreté. En effet, les circuits récents de distribution du quinoa mettent en avant le commerce équitable et sa participation au développement local. Le prix payé, sur une partie de la production, par les consommateurs des pays développés de l'hémisphère nord, concoure aux économies locales dès lors que les agriculteurs arrivent à s'organiser pour mutualiser les bénéfices et à en diriger une partie vers la construction d'infrastructures scolaires et de santé, de routes, etc. C'est pourquoi, afin que cet engouement mondial pour le quinoa ne génère pas des

conflits et des guerres de pouvoirs liés aux coopératives, il est important de conduire des recherches qui abordent les liens de solidarité au sein des communautés de façon à comprendre et intégrer ces règles dans les nouveaux dispositifs et institutions.

Les nouveaux axes de recherche à considérer devront tester comment les démarches d'économie sociale et solidaire participent à l'élaboration partagée de projets de territoire. La multiplicité des représentations et le cas particulier des coopératives transfrontalières questionnent différents niveaux de développement (local, régional, national, international) où les circuits courts et le commerce équitable ne sont qu'un élément parmi d'autres à aborder dans le cas d'une prospective participative.

Enfin, la déclaration de l'IYQ met clairement en avant la promotion du quinoa avec le soutien de sa dynamique d'expansion à l'échelle mondiale. Pourtant, comme nous venons de le voir, nous ne sommes pas en mesure d'apporter une réponse claire à comment vaincre la malnutrition au Sud malgré la forte production de quinoa en Bolivie et au Pérou. De la même façon, la diffusion du quinoa dans d'autres régions du monde se fera nécessairement par substitution au sein du système de culture entrainant par effet de cascade un changement des régimes alimentaires. L'introduction du quinoa pourra se faire par une diversification des systèmes de cultures mais aussi par une concurrence avec les céréales. Il est donc très important de penser l'introduction d'une espèce non pas seulement en termes de culture agricole supplémentaire mais aussi de considérer sa place et les modifications du système sociotechnique nécessaire pour ne pas détériorer les équilibres existants. Cette réflexion doit être poussée plus loin pour analyser en amont l'impact de cette introduction en termes de filières commerciales et d'usage alimentaire.

Poser le problème de cette façon montre la promotion du quinoa sous l'angle de l'accès à une biodiversité pour s'adapter notamment au changement climatique et résister au stress salin des terres agricoles dégradées. Masi le problème majeur de la diffusion du quinoa hors de la zone andine repose en premier lieu sur les ressources génétiques disponibles pour conduire des expérimentations. Les restrictions imposées par les législations semencières bloquent l'accès à des semences certifiées (et disposant d'une autorisation de mise sur le marché pour l'Europe). L'accès à une grande diversité génétique des semences pour mener des expérimentations est donc fortement contraint. L'orientation vers des semences autorisées, protégées COV, ne permettra pas une redistribution des bénéfices liés à l'utilisation des ressources génétiques du quinoa aux peuples andins pour leur développement et pour la conservation *in situ* des variétés paysannes locales.

Nous allons maintenant reprendre chacun de ces quatre points pour développer les enjeux et menaces sous-jacents.

Figure 37. Distribution mondiale des pays producteurs de quinoa en 1973.

© Didier Bazile, 2008. Source : D. BAZILE et F. Baudron, CIRAD, 2013

Figure 38. Distribution mondiale des pays producteurs de quinoa en 1983.

© Didier Bazile, 2008. Source : D. BAZILE et F. Baudron, CIRAD, 2013

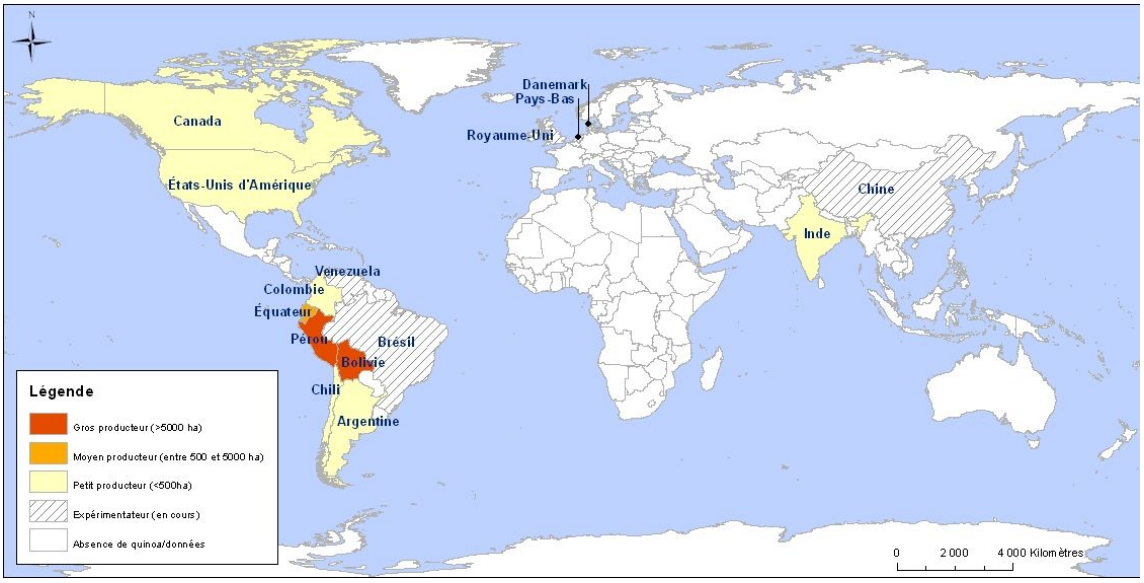


Figure 39. Distribution mondiale des pays producteurs de quinoa en 1993.

© Didier Bazile, 2008. Source : D. BAZILE et F. Baudron, CIRAD, 2013

Figure 40. Distribution mondiale des pays producteurs de quinoa en 2003.

© Didier Bazile, 2008. Source : D. BAZILE et F. Baudron, CIRAD, 2013

Figure 41. Distribution mondiale des pays producteurs de quinoa en 2013.

© Didier Bazile, 2008. Source : D. BAZILE et F. Baudron, CIRAD, 2013

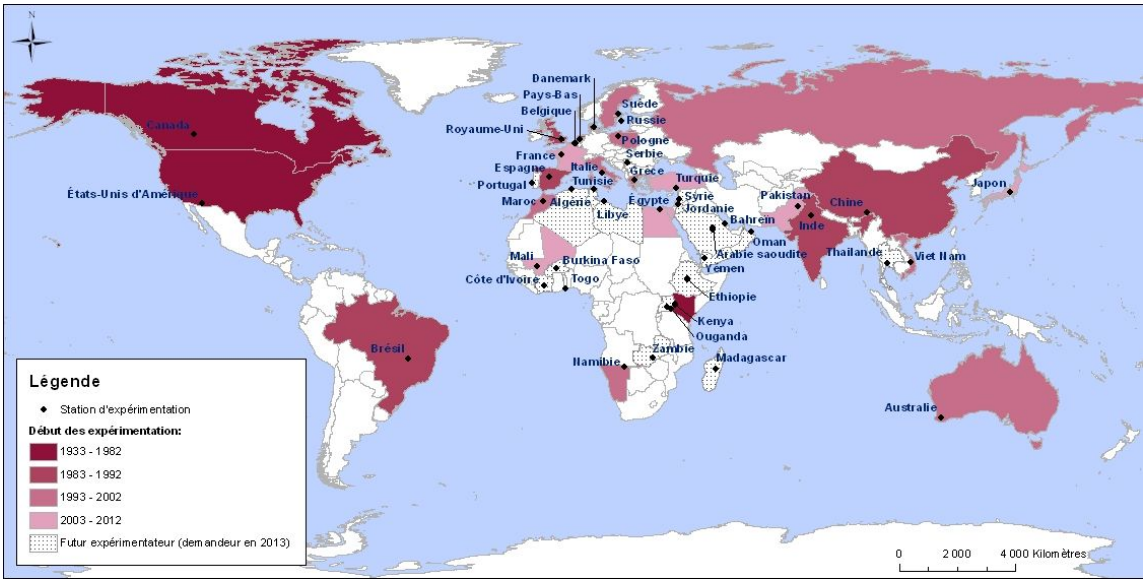


Figure 42. Recensement des dates de première expérimentation de la culture de quinoa selon les pays. © Didier Bazile, 2008. Source : D. BAZILE et F. Baudron, CIRAD, 2013

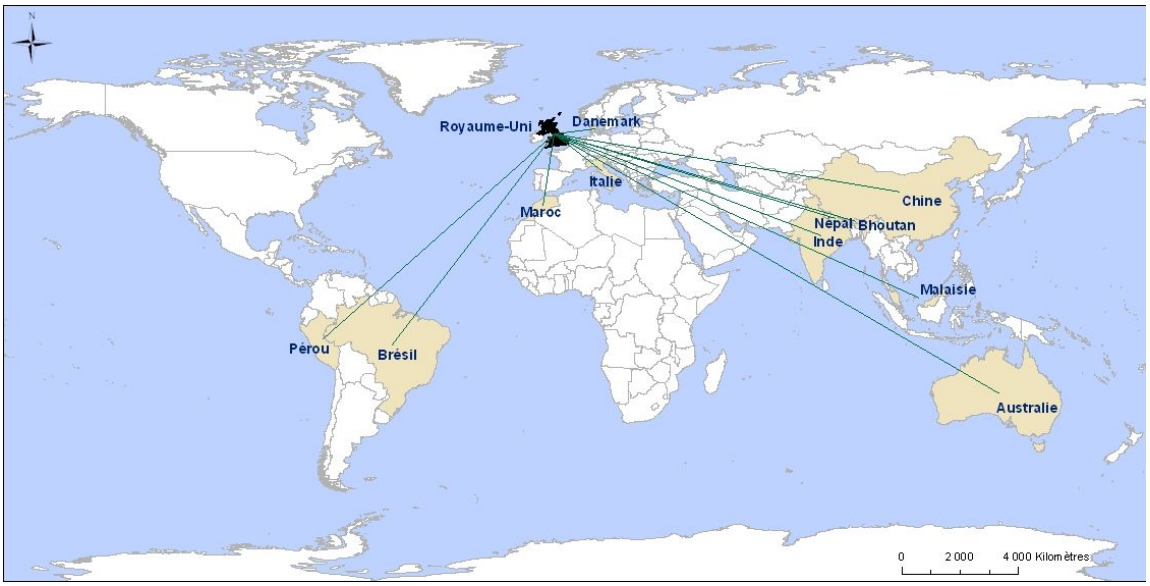


Figure 43. Collaborations de l'Université de Cambridge (UK) avec différents pays pour expérimenter le quinoa à partir de 1981. © Didier Bazile, 2008. Source : D. BAZILE et F. Baudron, CIRAD, 2013

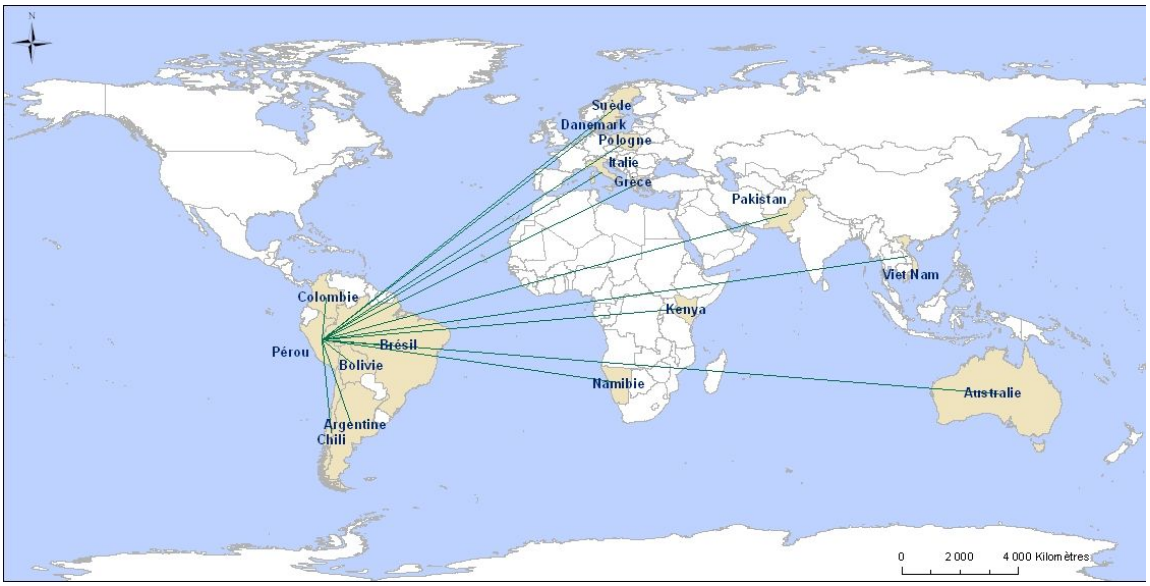


Figure 44. Collaborations Internationales initiées avec le Centre International de la Pomme de terre (CIP-Lima) et la Coopération danoise (DANIDA) pour expérimenter le quinoa à l'échelle mondiale dans le cadre de la « Prueba Americana y Europea de quinua[212]" (1996-98). © Didier Bazile, 2008. Source : D. BAZILE et F. Baudron, CIRAD, 2013

[212] Expérimentation américaine et européenne de quinoa initié sous couvert de la FAO et confié au Centre International de recherche agronomique sur la Pomme de terre (CIP) sur financement de la coopération danoise (DANIDA)

Figure 45. Collaborations internationales avec l'Université de Copenhague (DK) pour expérimenter le quinoa sur le pourtour méditerranéen: Projet SWUP-MED[213] (financement Union Européenne: 2008-2012). © Didier Bazile, 2008. Source : D. BAZILE et F. Baudron, CIRAD, 2013

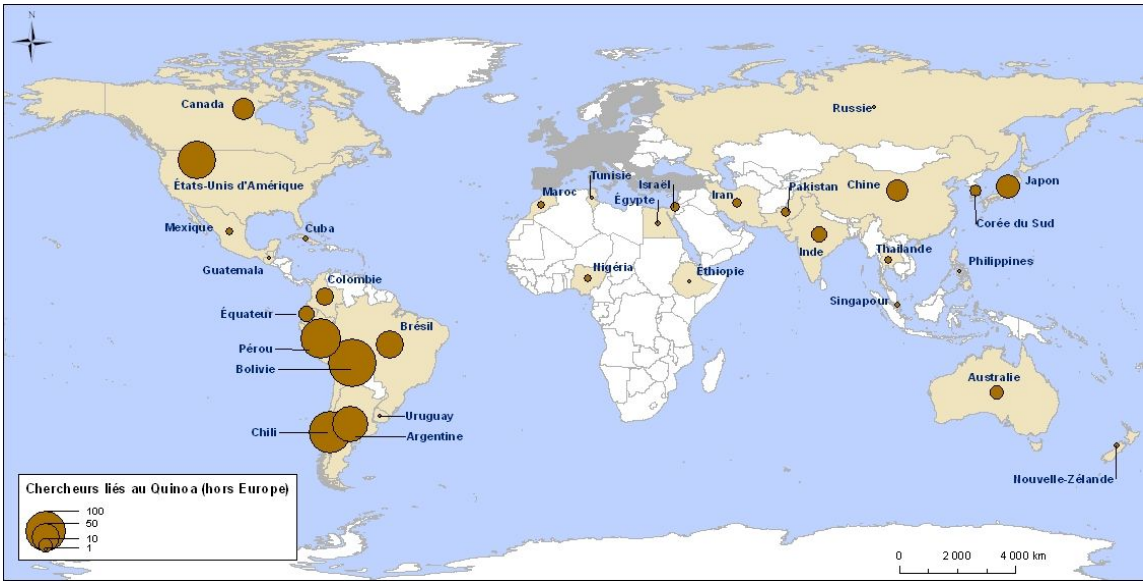


Figure 46. Origine géographique et importance en nombre des chercheurs travaillant sur le quinoa (hors Europe)[214]. © Didier Bazile, 2008. Source : D. BAZILE et F. Baudron, CIRAD, 2013

[213] http://swup-med.dk/ : Sustainable Water Use Securing Food Production in Dry Areas of the Mediteranean Region

[214] Données issues d'une synthèse bibliographique personnelle (environ 1200 références) à partir du Web of Science, SCielo et autres sources bibliographiques sur les 30 dernières années.

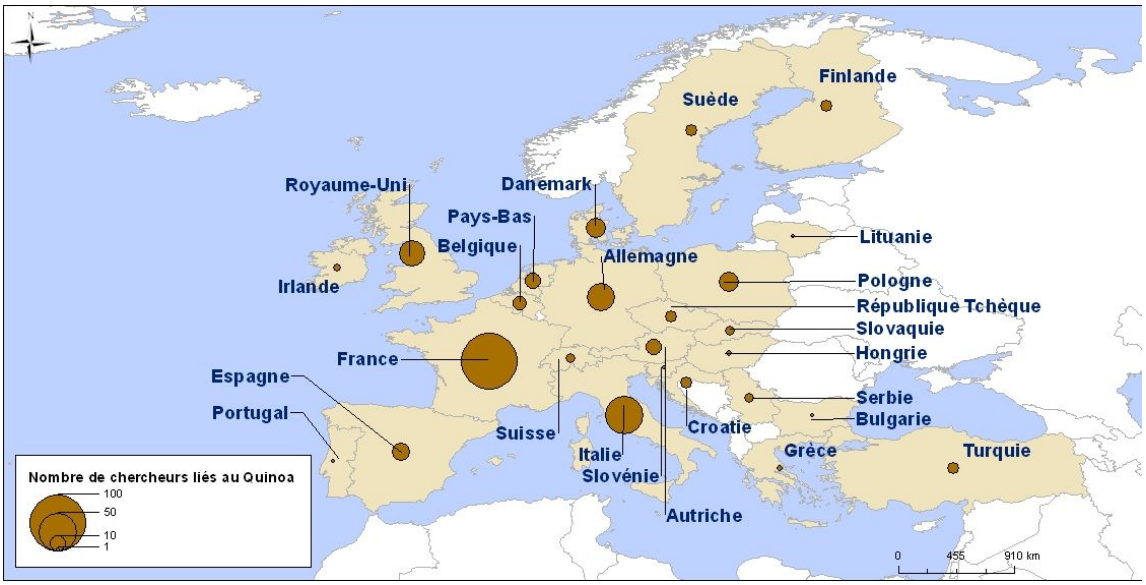


Figure 47. Origine géographique et importance en nombre des chercheurs travaillant sur le quinoa : zoom sur l'Europe. © Didier Bazile, 2008. Source : D. BAZILE et F. Baudron, CIRAD, 2013

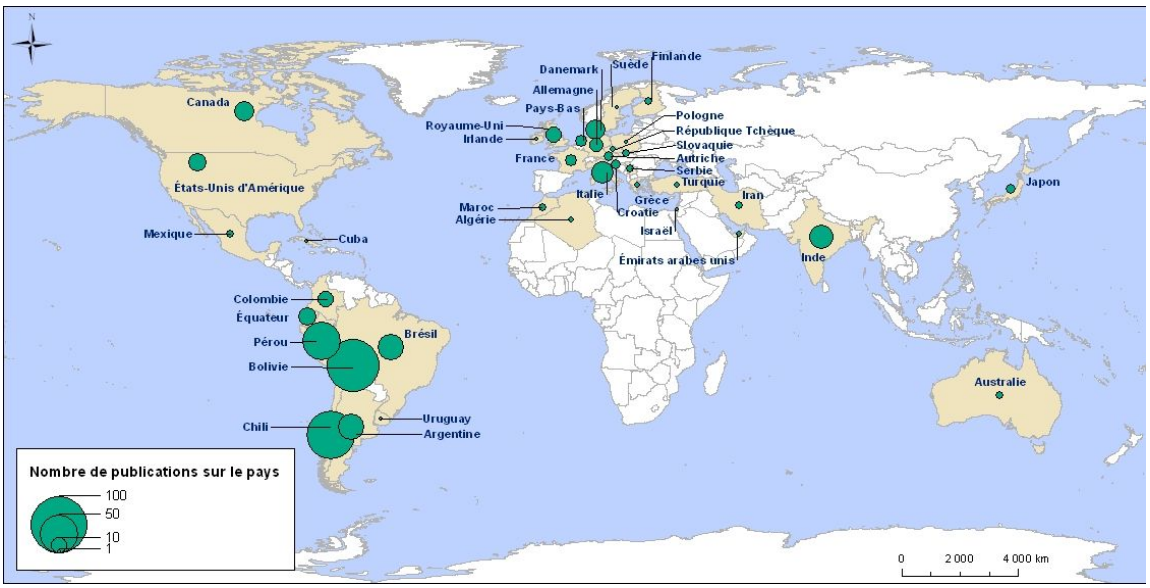


Figure 48. Importance des publications scientifiques sur le quinoa selon le pays concerné par ces études. © Didier Bazile, 2008. Source : D. BAZILE et F. Baudron, CIRAD, 2013

3.2.2 Le quinoa, un modèle pour étudier les dynamiques de la biodiversité en agriculture

Le quinoa peut être considéré comme un modèle biologique pour étudier les dynamiques en cours de sa biodiversité, et plus généralement des espèces agricoles dites sous-utilisées. La mise en place d'un monitoring pour suivre ces dynamiques constitue un enjeu majeur pour les recherches sur l'agrobiodiversité. En effet, cette évaluation constitue une opportunité unique pour le suivi en direct de la dynamique de la biodiversité à analyser selon les formes de développement (diversité des agricultures) et de régulations (systèmes d'échanges de semences). Jusqu'à maintenant, toute l'histoire de la biodiversité cultivée repose sur des reconstitutions. Les études de phylogénie s'appuient sur le marquage moléculaire pour reconstituer le cadre de l'évolution passée. Les approches archéologiques tentent de contextualiser l'histoire des plantes avec une approche par stades successifs représentant l'enchainement des diverses fouilles. Dans le cas présent, avec l'exemple du quinoa, l'histoire de l'évolution d'une espèce cultivée est en train de s'écrire sous nos yeux avec la possibilité d'en être un acteur pour tester diverses théories et les effets de différents modes de régulations (écologiques, économiques, sociales, etc.) sur les dynamiques de la biodiversité en tenant compte des formes d'agricultures (conventionnel *versus* agroécologie, etc.). L'observation en continu de l'expansion de la culture du quinoa ne doit donc pas avoir pour simple but de comptabiliser des surfaces mises en cultures (figures 37 à 41) mais de suivre la dynamique d'une espèce dans ses nouveaux contextes d'agriculture.

Le premier apport, et non des moindres, serait d'établir sur la base d'enquêtes directes la provenance des semences lors des premières expérimentations de quinoa dans les pays (figure 42). Connaissant la distribution à l'échelle mondiale des ressources génétiques de quinoa (figure 34), ces recherches permettront de montrer l'importance des réseaux entre institutions de recherche (figures 43, 44 et 45) pour les échanges de matériel génétique. Suivant les résultats observés, une réflexion devra être entamée pour questionner la place et l'efficacité des instruments de régulations actuels, aux différentes échelles, sur la circulation réelles des semences. Une distinction devra être apportée pour bien séparer les transferts de matériel génétique pour expérimentation (publique ou privée) et l'accès à des semences pour une mise en culture par des agriculteurs.

Conduire cette réflexion de façon pluridisciplinaire est nécessaire pour ne pas rester bloqué dans la compréhension des limites liées aux contraintes de notre propre domaine de recherche. Cette approche nous obligera nécessairement à revoir le statut du quinoa dans les échanges. En effet, durant toute l'année 2013 ou IYQ, différentes positions se sont exprimées quant au statut à donner aux ressources génétiques de quinoa : statut de bien commun, public, privé ou global. Il est clair que chaque statut va conférer un accès particulier aux ressources génétiques selon les groupes d'acteurs et aura pour conséquence de modifier les dynamiques de la biodiversité. Poser la question directement permettra à chaque groupe d'acteurs lié aux ressources génétiques de quinoa de prendre

une position qu'il devra défendre au regard de son impact sur la dynamique évolutive de l'espèce.

Cette discussion apparait conflictuelle aujourd'hui car elle focalise tous les enjeux liés à l'amélioration variétale du quinoa et à l'appropriation possible des ressources génétiques par certains acteurs, en particulier les sélectionneurs des firmes semencières privées. Les évolutions récentes sur la propriété intellectuelle font que l'inscription d'une nouvelle variété sera soumise à la présentation d'un certificat d'origine permettant une traçabilité des ressources génétiques depuis la source du premier échange. La question de qui fait de l'amélioration revient immédiatement sur le devant de la scène. Qui fait de l'amélioration, pourquoi, comment ? Ces questions simples sont pourtant nécessaires pour établir un cahier des charges avec des restrictions sur l'utilisation du matériel génétique et pour définir d'éventuelles compensations.

Le quinoa est encore considéré comme une espèce mineure dans l'agriculture et l'alimentation mondiale. Ceci se traduit dans les faits par la non-inscription du quinoa sur l'annexe 1 du Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture de la FAO (TIRPAA[215]). Les échanges de ressources génétiques ne peuvent donc pas se réaliser dans le cadre multilatéral qu'établit le TIRPAA mais dans un cadre bilatéral défini par la Convention sur la Diversité Biologique (CBD). Tout d'abord, ce cadre bilatéral exclut de la discussion le fait que le quinoa soit une ressource transfrontalière partagée entre plusieurs pays andins. Chaque pays apparait comme propriétaire des ressources génétiques présentes à l'intérieur de ses frontières même si elles peuvent être similaires à celle du voisin du fait d'échanges ancestraux entre voisins et le maintien de ces échanges de semences dans le droit coutumier. En outre, le cadre de la CDB est très contraignant et peut conduire à des blocages pour l'innovation. De plus, la protection des ressources génétiques par un pays ne signifie pas pour autant leur conservation *in situ* ou *ex situ*.

Aborder la circulation des ressources génétiques et des semences avec une entrée par la dynamique de la biodiversité permettrait sans doute de sortir des discussions ADPIC *versus* UPOV, CDB *versus* TIRPAA, afin de mieux prendre en compte ou s'en extraire des législations nationales, régionales et internationales. Sans un recul suffisant sur les instruments, il sera sans doute difficile d'imaginer des alternatives à ceux-ci et de les évaluer sereinement. Par exemple, le modèle d'*Open Seed Systems License* (OSSL) imaginé par Jack Kloppenburg (2010, 2013, 2014) aux USA ouvre des perspectives intéressantes même s'il rencontre de nombreux obstacles liés aux spécificités de l'objet semence qui est une ressource biologique (par opposition aux modèles informatiques d'*open source*) ou encore aux cadres nationaux de distribution des semences (avec par exemple l'autorisation de mise sur le marché en Europe). Néanmoins, ce modèle alternatif aux systèmes de régulations actuels des semences mérite d'être étudié pour au moins deux raisons ; la première est qu'il cherche à relier le système semencier au système alimentaire en

[215] http://www.planttreaty.org/fr

questionnant la souveraineté des semences comme c'est le cas pour la souveraineté alimentaire ; la seconde est que le décentrage opéré par cette alternative vis-à-vis des obtenteurs permet de proposer les utilisateurs de semences comme une même et unique communauté de pratiques alors qu'ils sont agriculteurs, chercheurs d'institutions publiques ou sélectionneurs privés, etc.

Cette approche théorique par les fonctions des différents systèmes présente de nombreux enjeux géographiques qui sont souvent à la base des différences actuelles de points de vue ou laissent présager de conflits dans le futur. Quelques éléments méritent d'être rappelés ici :

- La reconnaissance mondiale de la grande biodiversité du quinoa créée par les peuples andins depuis 7000 ans a été actée dans la résolution FAO de l'année internationale du quinoa 2013. Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est alors reconnu par tous dans son lien avec son aire de domestication, les abords du lac Titicaca, sans se référer aux deux espèces qui ont été ses parents sauvages (figure 49). En effet, la prise en compte de *C. album* et de *C. Berlandieri* dans leurs relations avec *C. quinoa* est extrêmement importante comme pour d'autres parents sauvages toujours présents et en interaction avec les populations de *C. quinoa* cultivé.

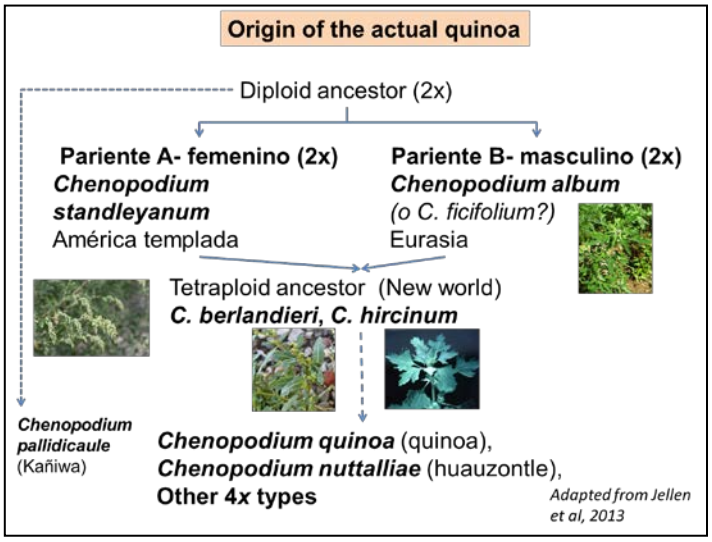


Figure 49. Etude phylogénique sur l'origine du quinoa cultivé (d'après Jellen et al. 2013).

- Les systèmes nationaux d'amélioration variétale dans les pays andins mettent en avant la sélection de matériel amélioré pour des utilisations locales en grande majorité au sein des agricultures familiales. De fait, la circulation des variétés est basée sur un système d'accès et de protection ouverts aux droits des agriculteurs. Même dans le cas du Pérou (1 COV) et de l'Equateur (avec différentes variétés améliorées), les semences améliorées de quinoa disposent de droits complémentaires à ceux régis par l'UPOV dans le cadre d'une utilisation nationale. Seul le Chili fait exception parmi les pays andins avec un secteur semencier très

développé pour la multiplication de semences de l'hémisphère nord en contre-saison. Cette spécificité fait que sa législation sur les semences est une des plus restrictives de façon à protéger ses obtenteurs plutôt que ses agriculteurs. Nous pourrions appuyer notre propos avec différents exemples mais nous n'en citerons qu'un qui représente les différents points de frictions entre les acteurs d'une filière semencière. La variété de quinoa *Regalona* mise au point par l'entreprise *Semillas Van Baer* au Sud du Chili a longtemps été soumise à controverse. La variété est issue d'un croisement classique entre une variété du Sud Chili présentant des caractères d'adaptation à l'environnement local et une variété d'Equateur présentant des caractères de qualité du grain (en particulier la taille). La question posée était celle de l'usage de ressources génétiques locales (variété collectée dans les années 70' auprès des populations *Mapuche* de la région *Araucanie*) et de son appropriation par une entreprise privée. Sachant que la collecte a eu lieu avant la signature de la CDB, le responsable de l'entreprise Van Baer est bien propriétaire de ces ressources génétiques et a besoin de n'en référer à personne pour une utilisation ultérieure. La protection de cette variété *Regalona* par un COV correspond au second volet de conflits relatifs à cette même variété. La législation chilienne des semences est en accord avec l'acte de 1978 de l'UPOV (et devrait signer celui de 1991) qui ne reconnait pas le droit aux agriculteurs de ressemer librement des semences commerciales protégées par COV et encore moins de les échanger avec ses voisins comme il le fait habituellement dans le système semencier local. L'inscription d'un COV est là pour protéger un travail d'amélioration de plus de 10 ans. Même s'il rentre en conflit avec le système semencier traditionnel, il ne peut être comparé au système des brevets comme ce fut le cas du brevet sur la stérilité mâle du quinoa mis en évidence sur une variété péruvienne par l'Université du Colorado aux USA (brevet cassé par la suite à la mobilisation internationale).

- L'expansion de la culture du quinoa se fait en direction des climats tempérés et méditerranéens. Pour faciliter l'adaptation des variétés à ces nouveaux environnements, les ressources génétiques du centre-sud du Chili correspondant à l'écotype du niveau de la mer sont les plus sollicités pour être ensuite croisés avec les autres écotypes pour rechercher des traits particuliers autres que l'adaptation au milieu. Les programmes actuels pour le développement de nouvelles variétés (principalement aux USA, au Danemark et aux Pays Bas) reposent donc sur ces ressources génétiques chiliennes. Les systèmes semenciers de ces pays reposent sur une législation qui privilégie la propriété intellectuelle des semences améliorées. Ces systèmes sont basés sur une inscription des variétés (définissant la protection par COV ou brevet) pour en limiter complètement ou partiellement l'accès. Le renouvellement des semences s'inscrit alors uniquement dans un système marchand.

- Dans le cadre des nouveaux programmes pour l'adaptation du quinoa à de nouveaux environnements conduisant par la suite à la sélection locale de matériel génétique (Maroc, Turquie, Mali, etc.), l'origine des ressources génétiques utilisées pour ces programmes est souvent floue et pourra générer de nombreux conflits avec les pays andins à très court terme car ils servent à leur tour de vecteur pour la diffusion de semences au niveau régional.

La politique générale de la FAO est de rester dans les cadres légaux déjà établis avec une volonté d'inscrire le quinoa sur l'annexe 1 du TIRPAA contre la volonté des pays andins. Ce point sur la dynamique de la biodiversité du quinoa questionne les logiques de conservation, de protection, d'appropriation, de compensation et de capacitation afin de penser et définir un espace reconnu sur le rôle des communautés d'agriculteurs non seulement dans la conservation *in situ* des ressources phytogénétiques, sinon aussi dans leur capacité à développer et maintenir des systèmes bio-diversifiés résilients capables de s'adapter aux changements globaux. Cette reconnaissance n'enlève d'ailleurs rien à la reconnaissance des autres acteurs (ceux de l'*ex situ*, les firmes semencières, etc.), elle doit simplement permettre de mieux redéfinir leurs complémentarités.

Un point essentiel, et jusque-là non pris en compte, est la diversité croissante des usages du quinoa. On connaît surtout le quinoa pour ses aspects nutritionnels valorisés en alimentation humaine, et reconnus à la marge en alimentation animale. On découvre maintenant son potentiel pour briser le cycle de bio-agresseurs dans les rotations à la fois comme plante de couverture et comme plante intercalaire. De plus, on parle encore peu, ou pas du tout, sauf dans les milieux spécialisés, de ses usages en cosmétique, médecine, détergents, etc. C'est pourtant ces usages non agricoles et non alimentaires que les régulations de demain devront aussi considérer dans les règles de circulation des ressources génétiques et pour la propriété intellectuelle qui en découlera sur ces nouvelles innovations.

3.2.3 Le quinoa, une plante tolérante aux stress pour s'adapter aux changements globaux en agriculture

Dans ce paragraphe, nous focaliserons notre propos sur l'adaptation aux changements globaux en nous intéressant plus particulièrement aux effets du changement climatique et de la salinisation des terres pour l'agriculture (Ruiz et al, 2014).

Le quinoa s'adapte à une très large gamme de milieux. D'une domestication sur les bords du Lac Titicaca (à la frontière entre le Pérou et la Bolivie), le quinoa a été adapté au cours des échanges entre groupes humains être progressivement cultivé dans les vallées inter andines, puis jusque dans des zones tropicales humides, et même bien au-delà au sud du Chili où il pousse au niveau de la mer avec parfois jusqu'à 2000 mm de précipitations annuelles. Il dispose aujourd'hui d'une écologie très large avec une diversification en cinq écotypes (Fuentes et al, 2012).

Cette plasticité écologique permet aujourd'hui d'envisager sa culture sous de nombreux climats après des phases d'adaptation et de sélection à partir des variétés populations cultivées dans les pays andins. Initialement, l'adaptation du quinoa à ces différents environnements dans les pays andins s'est faite avec une diversification progressive de sa base génétique pour arriver aux cinq écotypes que nous connaissons aujourd'hui. Promouvoir la culture du quinoa à partir d'une ou deux variétés améliorées (c'est-à-dire sur une base génétique très réduite), comme c'est le cas actuellement, est non seulement risqué du point de vue de la réussite de l'expérimentation mais surtout cela peut contribuer à favoriser certaines menaces:

- Le monopole des firmes semencières dans l'amélioration et la diffusion des semences oriente de fait les possibilités d'accès aux ressources génétiques sur des semences certifiées pour l'expérimentation et l'adaptation de l'espèce quinoa à d'autres contextes écologiques mais aussi sociotechniques et économiques. Cette contrainte initiale est plus en faveur du développement d'une culture conventionnelle intensive et de rente contre une agriculture au départ paysanne à faible niveau d'intrants (voire nul) ;

- Les règles spécifiques de régulation de semences adaptées aux modèles d'agricultures conventionnelles font peser le risque de passer à côté d'une possible adaptation dans certains contextes faute de trop limiter la base génétique du matériel testé. Il apparait donc un fort risque d'orientation de la culture du quinoa vers de l'agriculture conventionnelle avec dépendance aux intrants chimiques (engrais, pesticides) alors que justement son intérêt tient en particulier à sa rusticité.

- De plus, la perte de biodiversité classique dans un processus d'amélioration des plantes qui cherche à s'éloigner des variétés populations va mettre l'accent sur quelques traits majeurs. Dans le cas d'une adaptation à la sécheresse ou la recherche d'une meilleure résistance à la salinité des terres, la sélection variétale

privilégie des traits très éloignés du contenu nutritionnel ou d'autres résistances pour l'adaptation de l'espèce aux bioagresseurs du nouveau milieu. De la même façon, focaliser les besoins actuels de sélection-amélioration du quinoa sur quelques critères nutritionnels fait courir le risque d'une dérive vers la bio fortification (en référence à son fort potentiel nutritionnel) alors que là encore c'est bien l'équilibre général de la composition nutritionnelle qui doit être préservé.

Afin de pallier ces insuffisances ou dérives du système conventionnel non apte à mettre en valeur la totalité du potentiel de cette espèce mineure en agriculture, il apparait nécessaire de développer des recherches qui permettent d'envisager une valorisation maximale de la biodiversité du quinoa pour son adaptation à la diversité des agricultures du monde.

Dans le cadre de l'adaptation aux conditions arides et plus spécifiquement à la sécheresse dans un contexte de changement climatique, le quinoa est reconnu comme étant une plante très résistante (Martinez et al, 2009) capable de produire du grain malgré de très faibles apports d'eau. Elle a développé des mécanismes physiologiques, tant au niveau de ses racines que de ses feuilles, lui permettant de résister à de fortes contraintes abiotiques dont le manque d'eau. Le quinoa constitue donc de fait une alternative intéressante, ou un moyen de diversification, des systèmes de culture de toutes les régions déjà semi-arides ou susceptibles d'être exposées à une réduction prochaine des précipitations.

La dégradation de très grandes surfaces de terres agricoles à l'échelle mondiale due à la salinisation des sols pose de graves problèmes à l'agriculture (Cocozza et al, 2013). Depuis sa domestication sur l'altiplano, le quinoa a montré sa faculté à pousser sur les bords des Salars puis plus tard, lors de sa diversification en écotypes, dans les estuaires des fleuves là où les concentrations de sels dans les sols empêchent toute autre culture de se développer normalement. Sa capacité à tolérer ce sel dans les sols est un atout pour faire face à l'abandon des terres après salinisation en cherchant à les réhabiliter pour l'agriculture tout en fournissant un aliment à haut potentiel nutritif aux populations. Les expérimentations actuelles en Inde, au Pakistan, en Italie, en Turquie ou au même Maroc donnent de bons résultats. Les expérimentations actuelles laissent même entrevoir la possibilité d'une irrigation avec de l'eau salée lorsque la disponibilité en eau douce est très réduite pour les besoins agricoles. Néanmoins, il est important de rester très prudent sur cet usage de l'eau salée afin de ne pas dégrader davantage les sols. Le suivi de l'accumulation du sel dans les différents horizons du sol, et son stockage dans les différentes parties de la plante, est très important à considérer pour proposer une solution pérenne. En effet, le quinoa apparait comme une plante halophyte comme de nombreux Chenopodium c'est-à-dire qu'elle est capable de supporter des taux élevés de salinités. Cependant, cela ne signifie pas qu'elle va épurer ces sols du fait de sa capacité fixatrice. C'est pourquoi des expérimentations récentes au Chili ont montré que l'association d'espèces avec le quinoa permettait de remplir un double objectif : i) le *Mesembryanthemum crystallinum* présent à l'état naturel dans le semi-aride du Norte Chico chilien présente la capacité de fixer le sel dont les cristaux sont ensuite visibles sur les feuilles de cette crassulacée, il joue alors le rôle d'épurateur du sol ce qui limite la pression exercée par la salinité du sol sur la plante

productive ; ii) le *Chenopodium quinoa* est la spéculation principale de l'association qui malgré sa tolérance au sel bénéficie de l'association qui lui permet de produire davantage de grain (+40%) sachant que son niveau de stress est abaissé. Enfin, l'adventice commun de cette région *Convolvulus arvensis* (très gênante au moment de la récolte des grains) est fortement inhibée en présence de *M. crystalinum* grâce à l'effet allélopathique de cette dernière (Galleguillos et al, 2013[216]).

Les avantages très importants qu'il est possible de tirer de la rusticité et de la plasticité de l'espèce quinoa ne doivent pas masquer les menaces sur les agricultures, et indirectement sur les sols supports de production, si elles sont conduites vers une intensification irraisonnée sans réflexion écologique à moyen terme. Les expériences conduites au Chili montrent qu'il est possible de valoriser la biodiversité du quinoa en l'associant avec des espèces sauvages de l'environnement aride pour diminuer les stress (notamment salins) et ainsi augmenter les rendements. Ce processus mis en évidence au Chili permet d'imaginer de nouvelles associations agroécologiques de culture qui combineraient épuration saline des sols et production agricole avec un souci permanent de rechercher des équilibres nouveaux avec une utilisation accrue d'agrobiodiversité.

En conclusion, les recherches en cours pour une adaptation des agricultures au changement climatique présentent des enjeux géographiques importants puisque quasi toutes les régions du monde sont concernées. Les expérimentations actuelles (et les nombreuses en gestation) sur le pourtour méditerranéen, les pays du Golfe, l'Inde et le Pakistan vont complètement dans cette direction de l'introduction de la culture pour répondre à des enjeux de changement climatique et de salinisation des terres agricoles. Une coordination de ces actions éparses est nécessaire pour bénéficier de façon croisée des résultats obtenus sur un site mais aussi pour éviter de dégrader davantage des milieux déjà fragilisés par les excès de l'agriculture et d'une irrigation massive.

La faible diversité génétique utilisée (1-2 variétés certifiées) ne pose pas à priori de soucis dans un premier temps pour évaluer l'adaptation des plantes au climat. Mais dans un second temps, cela fait peser un risque important aux systèmes de cultures avec des risques d'épidémies et pullulations de ravageurs dans le cas de l'introduction d'une espèce exotique. Vouloir développer la culture du quinoa en utilisant sa biodiversité doit amener à se poser la question de quelle diversité dispose-t-on et de quelle diversité génétique a-t-on besoin dans les systèmes de cultures pour une bonne adaptation immédiate de la culture et dans un second temps pour faire face aux changements futurs avec des systèmes résilients ? La question posée renvoie donc à cette opposition en termes de

[216] Galleguillos M., Gaete C., Zúñiga G., Martinez E.A., Bazile D. 2013. Agroecological alternatives to fight against dry and salt stress in agriculture: association between quinoa and other plants in arid conditions of Chile. In : *Proceedings of SWUP-MED Project Final Conference "Sustainable water use for securing food production in the Mediterranean region under changing climate", 10-15 march, 2013, Agadir, Morocco*: pp. 386-408.

développement :« Viabilité des systèmes et intensification écologique » *versus* «Diversification des systèmes pour une transition agroécologique durable».

3.2.4 Le quinoa, une plante riche pour améliorer la sécurité nutritionnelle

Le quinoa est reconnu, d'une part, pour sa grande diversité génétique et, d'autre part, pour ses qualités nutritionnelles. Cependant, il est rare que la biodiversité du quinoa soit directement reliée à la sécurité nutritionnelle et en particulier aux aspects liés à la santé. Il est donc important de se poser la question : en quoi la culture du quinoa participe-t-elle à la sécurité alimentaire à différentes échelles? Cette question mérite d'être abordée tant dans les pays andins d'origine de la culture que dans les nouveaux pays producteurs. Pour cela, nous pouvons avancer une série de questions pour analyser la relation entre biodiversité et sécurité alimentaire :

- Comment la biodiversité en agriculture est-elle facteur de sécurité alimentaire ? Cette question peut s'appliquer dès l'échelle de l'exploitation agricole pour analyser comment l'insertion du quinoa dans le système de culture participe aux choix alimentaires du ménage et en quoi il constitue un apport spécifique et complémentaire aux autres productions agricoles et aux produits de collecte. La même question appliquée à la petite région naturelle permet de considérer la sécurité alimentaire à l'échelle du système agraire. Elle met alors en avant les circuits d'échanges de produits agricoles au niveau local et l'importance du quinoa sur les marchés de proximité et dans la vente directe. Déclinée à l'échelle nationale, l'analyse de la participation du quinoa à la sécurité alimentaire du pays montre la régulation possible par des échanges entre régions pour atteindre la sécurité alimentaire. Enfin, si l'on pousse cette étude au niveau international, il serait intéressant de voir en quoi le quinoa participe à la sécurité alimentaire des consommateurs.

- En quoi le contenu nutritionnel du quinoa contribue-t-il à l'équilibre des régimes alimentaires ? Les apports du quinoa peuvent alors être perçus de façon directe par la consommation locale des produits à base de quinoa ou de façon indirecte pour les producteurs dès lors que le quinoa génère des revenus pour acheter des aliments afin de diversifier et/ou compléter le régime alimentaire local. Afin de bien préciser les apports du quinoa à l'alimentation des populations, il est possible de s'appuyer sur les travaux de la commission sur la sécurité alimentaire de la FAO, et en particulier les indicateurs de sécurité alimentaire développés, afin de les tester dans différentes régions et les adapter avec des chiffres d'abaques mis en conformité avec la réalité.

- Quels sont réellement les contenus nutritionnels du quinoa suivant les lieux et les pratiques de production ? Jusqu'à maintenant, il est impossible de séparer par son contenu nutritionnel et/ou sanitaire les quinoas suivant leur provenance. Il y a donc urgence à développer des méthodes pour apprécier le contenu nutritionnel des différentes variétés de quinoa selon

les contextes de production: zones géographiques (sols, altitude, climat) et les modes de production (agroécologie, agriculture biologique, agriculture conventionnelle, etc.). Cette analyse Génotype*Environnement (GxE) doit être doublé d'une analyse des pratiques agricoles des sociétés. A l'heure actuelle, cette relation GxE est uniquement étudiée dans des approches agronomiques afin de tester l'adaptation des variétés à différentes écologies. La différence de réponses d'une même variété à différents environnements laisse évidemment penser que la physiologie des plantes est modifiée et que la composition de celle-ci changera. Relier la relation GxE aux pratiques est important pour avancer sur l'impact que les modes de production ont sur la qualité des productions.

- Comment la sécurité alimentaire et nutritionnelle doit intégrer plus d'aspects liés à la santé ? La montée en puissance de l'agroécologie repose sur un changement de paradigme pour passer du « produire plus » au « produire mieux ». Les innovations agroécologiques proposées à l'heure actuelle se présentent principalement sous la forme d'une réduction des apports d'intrants chimiques permettant d'une part une réduction des coûts, mais surtout une meilleure santé des sols, la maitrise des populations de bio-agresseurs par la recherche d'un équilibre dans l'utilisation de plus de biodiversité et enfin un danger moindre pour l'agriculteur. L'étiquetage des aliments ne fait pas encore vraiment assez ressortir la dangerosité liée à l'application de pesticides sur les cultures. Seules les certifications biologiques présentent une garantie de non application de produits nocifs. Pourtant le consommateur souhaiterait connaitre les taux de matières dangereuses potentiellement présentes dans les produits qu'il ingère, de la même façon qu'une bouteille d'eau mentionne par exemple les taux de nitrates. Une meilleure connaissance du contenu nutritionnel et du risque sanitaire potentiel serait un atout pour la reconnaissance d'un produit comme le quinoa considéré à haute valeur nutritionnelle. En effet, la simple mention d'absence de gluten (ou de risque d'allergie) tranquilliserait certains cœliaques pour qui la consommation de quinoa est primordiale. Enfin, sachant que le quinoa est une plante très rustique capable de pousser sur des sols très pauvres, elle présente les qualités des plantes extractrices ou épuratrices. Cela signifie que semer du quinoa dans des terrains présentant par exemple des métaux lourds permettra de récupérer ce sol en l'épurant du fait des propriétés de la plante. Par contre, au même titre, un mauvais contrôle des sols où le quinoa est semé présente le risque de fixer des éléments nocifs pour la santé humaine.

De même que pour la dynamique de la biodiversité, la question de la sécurité alimentaire présente des enjeux géographiques différents selon les régions du monde. Malgré une autoconsommation de quinoa par les producteurs, les pays andins montrent des

problèmes de malnutrition à l'échelle nationale. Des études spécifiques sur ces questions devraient donc être proposées en lien avec les politiques publiques récentes afin de les accompagner. Il s'agit ici de mieux comprendre comment la valeur nutritionnelle du quinoa doit être mieux dirigée pour favoriser la sécurité alimentaire des populations afin de mettre en place les politiques publiques adéquates pour soutenir ces efforts.

La diffusion du quinoa sur le pourtour méditerranéen interpelle immédiatement sur le maintien de la diète méditerranéenne considérée comme une des mieux équilibrée à l'échelle mondiale. C'est pourquoi des projets démarrent actuellement en Tunisie et au Maroc pour aborder la question de la stabilité des modèles de régimes alimentaires méditerranéens (et plus largement au Maghreb) en analysant précisément l'impact des cultures introduites dans ces modèles.

Le quinoa produit en Afrique sub-saharienne repose sur l'objectif initial de compléter l'apport en protéines des populations pauvres en conditions de malnutrition. La présence des 20 Acides Aminés Essentiels dans le quinoa en fait un complément protéique très intéressant pour les populations qui n'ont pas accès à un régime carné. La possibilité de produire le quinoa en saison pluviale, tout comme en contre-saison (comme c'est le cas pour le sorgho de décrue au bord des fleuves Niger et Sénégal), change complètement la relation aux produits locaux car il peut très bien venir en concurrence des céréales traditionnellement semées (mil-sorgho) ou alors en complément.

3.2.5 Le quinoa, une source potentielle de revenus pour soutenir l'agriculture familiale et contribuer à éradiquer la pauvreté

Le quinoa a été maintenu pendant des siècles par les paysans andins. Les pratiques traditionnelles agroécologique des systèmes de production font pleinement usage de la complémentarité des différents niveaux de la biodiversité avec l'usage d'un grand nombre de variétés locales au sein de chaque petite région agricole (diversité génétique), le recours à une diversité d'espèces en association ou en rotation dans le système de culture, couplé à une intégration avec l'élevage pour valoriser les transferts de fertilité (diversité spécifique), et la mise en valeur raisonnée de l'écosystème comprenant l'utilisation de plusieurs zones écologiques à différentes altitudes (diversité écosystémique).

Comme cela a été démontré précédemment, la reconnaissance mondiale de quinoa a traversé plusieurs étapes depuis les années 50'. Cette évolution a contribué au changement progressif de statut de cette culture au départ dévalorisée car considérée comme la nourriture des indiens. Le quinoa est passé du statut d'une culture d'autosubsistance pour les petits producteurs andins à un produit des segments de marché de l'alimentation saine (agriculture biologique, sans gluten, protéines végétales pour les végétariens, etc.) dans l'hémisphère nord. Les revenus générés par ce récent marché à l'exportation modifient en profondeur la viabilité économique des exploitations agricoles qui participent à ce commerce. Ainsi, les producteurs péruviens et boliviens engagées dans la culture du quinoa ont pu voir leurs revenus tripler ou même être multipliés par cinq sur deux décennies. Ceci est surtout vrai lorsque ceux-ci s'organisent en coopératives. Ils peuvent alors mieux faire valoir leurs droits face aux importateurs. La montée en puissance du commerce équitable pour le quinoa sur les dix dernières années contribue à valoriser les circuits courts (en limitant le nombre d'intermédiaires entre le producteur et le consommateur) dans une démarche d'économie sociale et solidaire. Les organisations de producteurs peuvent alors gérer collectivement une partie des bénéfices de la filière pour le réinvestir dans le développement local. De cette façon, la production de quinoa contribue aux Objectifs du Millénaire pour le Développement en participant à la réduction de la pauvreté des populations andines. La production mondiale de quinoa étant pour lors très centrée sur deux pays, le Pérou et la Bolivie, elle participe à l'élimination de la pauvreté en soutenant l'agriculture familiale dans les zones rurales marginalisées des montagnes de l'Altiplano du Nord au Sud.

Pour analyser les tendances récentes de l'expansion de la culture de quinoa et tenter d'en comprendre ses effets sur le développement dans et hors de la zone andine, nous devons tenir compte de nombreux éléments parmi lesquels:

- Malgré le boom de la culture du quinoa dans les années 90' et son effet sur l'augmentation des prix sur les marchés mondiaux, les évolutions actuelles montrent que la demande mondiale de quinoa ne redescend pas et continue même de croitre. Sachant que les producteurs actuels ne sont pas en mesure de répondre à la demande mondiale, les prix continuent de

s'élever à des niveaux tels qu'ils accentuent l'engouement pour la culture. La question qui se pose est comment, et combien de temps, un tel système de prix poussé à une tension extrême peut-il perdurer dans le temps avant de connaître une crise majeure préjudiciable aux petits producteurs ayant engagés du capital pour développer leur structure d'exploitation et de transformation? La production andine actuelle est centrée sur trois pays : Bolivie, Équateur et Pérou. On situe en général le boom du quinoa dans les années 90' alors qu'il a surtout explosé dans les années 2000' avec une certification bio-équitable qui permet un meilleur retour aux producteurs. La Bolivie qui représentait 90% des exportations dans les années 90' (Pérou 6%; Équateur 4%) compte maintenant pour environ 75% de celles–ci et le Pérou 23%, l'Équateur 2%. La destination des exportations a aussi été bousculée puisque dans les années 90', le quinoa partait vers les USA 34%, le Pérou 18%, l'Allemagne 18%, la France 11%, etc. Aujourd'hui, les exportations vers les USA sont majoritaires avec 53% (même s'ils produisent toujours de plus en plus de quinoa sur leur territoire national tout comme le Canada), et sont suivies par la France avec 10%, la Hollande 8% et l'Allemagne 6%. C'est pourquoi les chiffres actuels montrent qu'avec l'augmentation massive des exportations dans les années 2000', les premiers importateurs ont fortement accru leurs importations malgré une production nationale pour ces pays toujours en plein essor.

- Afin de répondre à l'explosion mondiale de la demande de quinoa sur les marchés, différentes stratégies se sont développées dans les pays producteurs. La Bolivie, premier producteur mondial et dont le berceau de la production se situe dans l'altiplano sud, souhaite conserver ce rang au niveau international. Les politiques publiques soutiennent une extension des surfaces cultivées pouvant correspondre à un doublement de celles-ci suivant les estimations. La mécanisation des exploitations favorise la culture à plus grande échelle. Cette évolution présente plusieurs risques : i) un risque environnemental avec la mise en culture de grandes surfaces qui ne permet plus l'inclusion d'une période de jachère dans la rotation des cultures pourtant nécessaire à l'accumulation d'eau dans le sol et à la protection de ceux-ci contre l'érosion (principalement éolienne); ii) une appropriation de ce marché par les plus gros producteurs capable d'investir dans du matériel agricole pour intensifier et semer de grandes surfaces ; iii) l'émergence de conflits sociaux du fait du retour à la terre de migrants et d'une nouvelle organisation des filières autour des plus gros producteurs ; iv) la baisse progressive de la production de quinoa pour le marché national sachant que ce sont les prix à l'export qui tirent la production. La question plus générale posée est donc celle du développement local permis par la culture du quinoa afin de bien analyser son lien avec les petits agriculteurs comme un moyen de lutte contre la pauvreté. Les politiques publiques

agricoles du Pérou se différencient en cela de celles de la Bolivie. La diversité des milieux où pousse le quinoa a incité le gouvernement à différencier ses politiques selon les zones agroécologiques. Ainsi, la région de Puno sur l'altiplano concentre la majorité des petits producteurs de quinoa qui pratiquent une agriculture biologique. La production, malgré des rendements assez bas, est bien valorisée dans son prix à l'export tout en restant largement consommé par les populations locales. Dans les parties de basse altitude et les plaines côtières, les politiques publiques soutiennent l'intensification dans un modèle d'agriculture conventionnelle. Les contraintes pour rester en agriculture biologique sont trop importantes en milieu tropical, c'est pourquoi la valorisation du produit se fait sur le marché national avec une recherche agronomique basée sur l'amélioration variétale pour augmenter les rendements. Dans ce dernier cas, la volonté de semer de grandes surfaces de quinoa en plaine ne se fera que par l'intermédiaire des groupes agroindustriels et risque très vite de déstabiliser la petite agriculture familiale même en interne.

- La forte demande du quinoa sur le marché mondial pose la question de la pertinence des nouveaux pays producteurs à entrer sur ce segment de marché actuellement reconnu par les consommateurs de l'hémisphère nord par les certifications bio-équitables. La première chose à considérer est tout d'abord la capacité de ces pays à produire et à organiser des filières capables de s'insérer sur ce marché. Ensuite, il faudra analyser suivant la destination des productions (interne ou export) si ces nouveaux producteurs constituent une réelle menace pour l'agriculture andine. Actuellement, les petits producteurs andins sont bien organisés et cette action collective leur a jusqu'à maintenant permis de toucher les retombées du développement mondial de la culture. Il apparait donc essentiel que les efforts de consolidation des réseaux de producteurs puissent servir à faire valoir leurs droits à l'international et à réclamer la part de bénéfices qui leur revient. Les modalités de production agroécologique sur l'altiplano restent difficiles à concurrencer ailleurs dans le monde. En effet, les conditions climatiques extrêmes à 4000m d'altitude avec en moyenne seulement 200mm de précipitations annuelles et 250 de gels par an, font que le quinoa est la seule espèce cultivée capable de supporter ces conditions et n'est que très peu confronté à des maladies et ravageurs. Ce constat fait que l'agriculture est biologique quasi de fait ce qui permet une très bonne valorisation du produit. De plus, le quinoa est connu des consommateurs de l'hémisphère nord comme étant un produit ethnique associé aux peuples indigènes d'Amérique latine. Le produire ailleurs dans le monde se trouvera nécessairement confronté à cet avantage andin pour l'écoulement de la production.

Enfin, le soutien au développement de la culture du quinoa sur toute la planète suit différents chemins pour répondre à des objectifs variés. Considérer cette diversité dans l'expansion mondiale de la culture permettra d'évaluer en quoi le développement mondial bénéficie aux populations les plus pauvres en termes de revenus et/ou de sécurité alimentaire. Afin de souligner comment notre entrée par l'agrobiodiversité et les ressources génétiques du quinoa nous amène à considérer une approche intégrée des systèmes alimentaires, des systèmes semenciers et des systèmes agraires, nous pouvons souligner ici qu'un projet de recherche sur l'analyse des dynamiques d'expansion mondiale du quinoa doit permettre de croiser les regards disciplinaires sur :

- la promotion d'un dialogue élargi sur la réglementation des ressources génétiques afin d'envisager des alternatives aux instruments actuels définissant l'accès à la diversité génétique des espèces pour cultiver, expérimenter et s'adapter à de nouveaux environnements;
- l'accompagnement des producteurs pour soutenir l'agriculture familiale dans une transition agroécologique;
- l'utilisation d'outils participatifs pour faciliter les discussions de différents scénarios de développement des espèces sous-utilisées en mettant en avant les enjeux, les contraintes mais aussi les menaces dans le cadre d'une analyse géopolitique sur les pays concernés;

En conclusion, le développement de la culture du quinoa peut dans ses multiples dimensions servir de modèle pour analyser une transition écologique où la biodiversité agricole prendra beaucoup d'importance. Analyser les changements en cours, tout en étant acteur dans ces processus, nécessite des méthodologies particulières liées à l'accompagnement, à la multidisciplinarité, si l'on souhaite réellement promouvoir le quinoa vers une transition écologique de l'agriculture mondiale qui considèrera la biodiversité agricole dans toutes ses dimensions.

CONCLUSION

Proposer une lecture géographique des questions environnementales qui touchent nos sociétés est devenu une pratique courante des géographes modernes qui s'intéressent aux processus de déforestation, à la désertification, aux effets du changement climatique ou encore à la biodiversité. Les différents regards portés par la discipline sur la reconnaissance de la biodiversité comme objet d'étude ont été dès le départ posés en termes de pratiques géographiques avec l'utilisation d'outils et de méthodes spécifiques, notamment ceux liés à la spatialisation des données et des phénomènes.

Peu de travaux géographiques, au final, portent sur la gestion de la biodiversité en agriculture, en particulier de l'agrobiodiversité qui est sous la dépendance des pratiques de communautés d'agriculteurs (Eloy[217], 2005 ; Caillon[218], 2005 ; Labeyrie[219], 2013). Le travail présenté dans cette synthèse apporte donc un éclairage nouveau en croisant les regards de l'agronome et du géographe. Cette restitution de près de quinze ans de cheminement scientifique pour améliorer nos connaissances sur la dynamique de la biodiversité en agriculture en s'intéressant aux systèmes semenciers montre combien la relation entre les plantes et les hommes est intimement imbriquée et qu'il ne faut surtout pas chercher à travailler ces deux aspects séparément pour rendre compte de la complexité des systèmes considérés. Les pratiques agricoles de sélection et de domestication des ressources phytogénétiques ont généré une diversité intraspécifique riche et originale. Les systèmes de cultures des pays du Sud intègrent cette diversité d'espèces et de variétés en liaison avec la variabilité des milieux exploités et, avec la diversité sociale et culturelle au sein et entre les sociétés agraires. La réflexion initiée pour comprendre la diversité des pratiques et des régulations au sein des systèmes semenciers a pour principal objectif la définition et la mise en œuvre de modes de gestion adaptés à la préservation dynamique *in situ* des ressources génétiques face aux changements globaux. Il s'agit d'identifier de nouvelles formes de gestion de la diversité variétale basée sur l'interaction à différentes échelles des systèmes semenciers paysans, marchands et institutionnels. L'approche comparative développée à partir des études de cas sur les céréales traditionnelles (mil et sorgho) en Afrique de l'Ouest et sur la diversité des systèmes de cultures à base de quinoa au Chili nous a permis de croiser des regards issus de différentes disciplines pour analyser ensemble la dynamique de l'agrobiodiversité. La méthodologie proposée s'appuie sur la co-

[217] Ludivine Eloy, 2005. Entre ville et forêt : le futur de l'agriculture amérindienne en question. Transformations agraires en périphérie de São Gabriel da Cachoeira, Nord-ouest amazonien, Brésil. Thèse de doctorat en Géographie. Université de la Sorbonne nouvelle - Paris III (10/12/2005), Hervé Théry (Dir.). 408 p.

[218] Sophie Caillon, 2005. Pour une conservation dynamique de l'agrobiodiversité : Gestion locale de la diversité variétale d'un arbre « des Blancs » (cocotier, Cocos nucifera L.) et d'une plante « des ancêtres » (taro, Colocasia esculenta (L.) Schott) au Vanuatu. Université d'Orléans (09/12/2005), Jean-Paul Lescure (Dir.).

[219] Vanesse Labeyrie, 2013. L'organisation sociale des plantes cultivées. Thèse de doctorat, Université de Montpellier (19/12/20163). Jean-Christophe Glazmann (Dir.) et Christian Leclerc (Co-Dir.)

construction d'outils innovants, les modèles multi-agents, capables d'intégrer les points de vue des différents acteurs puis de simuler les aspects dynamiques de la gestion de la biodiversité pour analyser les impacts des évolutions futures. La montée en généricité au cours des travaux nous a permis de mieux comprendre les déterminants des dynamiques variétales, les différents acteurs en jeu dans le système et les différentes échelles d'interactions. Une grille d'analyse basée sur les quatre grandes fonctions du système semencier, conservation, sélection, diffusion et production, nous permet désormais de comparer plus facilement le rôle de chacun des acteurs au sein du système mais aussi de mener une analyse comparée de différentes situations de systèmes semenciers dans le monde.

La démarche de modélisation favorable à l'intégration de différents types de connaissances disciplinaires nous a permis de réfléchir à la question des modes d'interaction à privilégier entre les différents porteurs de savoirs, qu'ils soient chercheurs ou acteurs locaux. La méthodologie utilisée associe différents outils comme les jeux de rôles, les enquêtes et interviews et les modèles de simulation. La modélisation d'accompagnement repose sur ces méthodes et outils pour aborder les systèmes complexes en situation d'incertitude que ce soit pour des objectifs de recherche ou d'appui à la décision collective.

L'application de cette méthodologie aux systèmes semenciers céréaliers ouest africains et aux systèmes semenciers du quinoa des Andes a fait avancer notre compréhension des systèmes pour disposer aujourd'hui d'une grille d'analyse générique pertinente afin de considérer l'ensemble des acteurs et des ressources dans leur diversité. L'étude de cas du quinoa souligne le fait que les systèmes sont très dynamiques. Il est donc important de pouvoir suivre l'évolution des situations que nous avons déjà pu caractériser dans les pays andins pour mieux comprendre et analyser ces dynamiques. De plus, l'application de cette même grille à d'autres systèmes où le quinoa est en train d'être introduit ailleurs dans le monde nous donnera une base solide pour conduire une approche d'agriculture comparée pour suivre et évaluer l'insertion du quinoa dans d'autres systèmes de cultures. L'importance des pratiques agroécologiques dans les agricultures andines dites traditionnelles doit être mieux caractérisée afin de pouvoir discuter d'une part, de leurs possibles évolutions compte tenu d'un besoin d'adaptation aux changements globaux et d'autre part, d'analyser en quoi ces pratiques sont intimement liées à la culture du quinoa et sont extrapolable à d'autres situations dans le monde où le quinoa est en train d'être expérimenté. Penser l'agriculture du quinoa dans les Andes non pas uniquement comme un système localisé mais comme un modèle devrait nous permettre de relier notre réflexion à une démarche géographique susceptible d'apporter de nouvelles connaissances utiles aux politiques d'aménagement et de gestion des territoires ruraux.

La formalisation des représentations des systèmes semenciers constitue un point essentiel pour comprendre et intégrer la diversité des points de vue dans les plans d'actions nationaux pour la conservation et l'utilisation durable des ressources phytogénétiques en agriculture. Nos recherches montrent qu'il est important de renforcer la capacité de gestion des ressources phytogénétiques des agriculteurs par des liens étroits avec les

organismes de recherche, de vulgarisation agricole, le secteur privé et les ONG. Conservation, utilisation et valorisation de la biodiversité nécessitent une combinaison d'approches interdépendantes, incluant des efforts *in situ* et *ex situ*, c'est pourquoi au-delà de protéger la biodiversité en soi, les politiques publiques doivent promouvoir le dialogue entre les acteurs concernés par les dynamiques de la biodiversité agricole afin de prendre en compte la grande diversité des points de vue existant dans l'élaboration de leurs politiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Liste des références bibliographiques

Abrami G., Bazile, D., Le Page, C., Dembele, S. et Dionnet, M., 2005. Preparing a framework for participatory modelling of farmers seed systems in Mali: varieties selection and exchange. *In*: ESSA (Ed.), *The third annual conference of the European Social Simulation Association*. ESSA, Koblenz-Landau University on September 5–9, 2005, 7p.

Abrami G., Bazile D., Dionnet M., Dembélé S., Le Page C., Coulibaly H. 2007. Accompanying farmers in the building of collective rules for agrobiodiversity management. In : *Environmental and rural sustainability through ICT : 6th Conference of the European Federation for Information in Agriculture, Food and Environment (EFITA 2007) and 4rd World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources (WCCA), Scotland, 2-5.*, 6 p.

Abrami G., Bazile D., Coulibaly H., Bousquet F., 2010. Seed-div: an abstract role-playing game for discussing collective management of agrobiodiversity. *In*: Coudel Emilie (ed.), Devautour Hubert (ed.), Soulard Christophe (ed.), Hubert Bernard (ed.). International symposium ISDA 2010. Innovation and sustainable development in agriculture and food : Abstracts and papers. Montpellier : CIRAD, France, 15 p. International symposium ISDA 2010, 2010-06-28/2010-07-01, Montpellier. http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00533450/fr/

Allaire, G., 2002. "L'économie de la qualité, en ses secteurs, ses territoires et ses mythes." Géographie, *Economie et Société* 4(2): 155-180.

Almenkinders, C.J.M. et Louwaars, N.P.. 2002. The importance of the farmer's seed systems in a functional national seed sector. *Journal of new Seeds*, 4/1-2: 15-33.

Almenkinders, C.J.M., Louwaars, N.P. and Bruun, G.H.d., 1994. Local seed systems and their importance for an improved seed supply in developing countries. *Euphytica*, 78: 207-216.

Altieri MA, 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93, 1-3, 1-24.

Altieri MA, 2003. Ethical dimensions of agroecology criticism to agrobiotechnology. *Acta bioethica*, 9, 47-61.

Altieri Miguel A. et Nicholls Clara I., 2005. *Agroecology and the Search for a Truly Sustainable Agriculture*, PNUE, Mexique.

Altieri Miguel A., 1995. *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture,* 2e éd., Boulder, Colorado, Westview Press.

Altieri, M.A. and Anderson, M.K., 1986. An ecological basis for the development of alternative agricultural systems for small farmers in the Third World. *American Journal of Alternative Agriculture* 1, 30–38.

Altieri, M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74 (1–3), 19–31.

Altieri, M.A., 2002. Agroecology: The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93 (1–3), 1–24.

Altieri, M.A., Letourneau, D.K. and Davis, J.R., 1983. Developing sustainable agroecosystems. *BioScience* 33, 45–49.

Amilhat Szary Anne-Laure, 2006. L'émergence d'un référent territorial : ethnie, frontière et projet de territoire dans les Andes. *In* : Premières Rencontres Internationales du programme CORUS (Les recompositions territoriales et leurs référents), Les territoires à l'épreuve : décentralisation et dévolution, Marrakech, Université Cadi Ayyad, 09 au 11 novembre 2006.

Antona, M. *et al*., 2003. Our Companion Modelling Approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6-1,http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/1.html.

Ba Amadou Tidiane et Kandioura Noba, 2001. Flore et biodiversité végétale au Sénégal. *Sécheresse* vol. 12, n° 3 : 149-155.

Barreteau, O., 2003. The joint use of role-playing games and models regarding negotiation processes: characterization of association. . *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6-2, http://jasss:soc:surrey:ac:uk/6/2/3.html.

Barrué, M, Bertrand, G. (Eds), 1997. *Les Temps de l'environnement*, Journées du PIREVS, Toulouse, Presses universitaires du Mirail.

Baudry, J. and A. Jouin, Eds., 2003. *De la haie aux bocages: organisation, fonctionnement et gestion*. Paris, INRA Editions, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 435 p

Baudry, J., F. Burel, S. Aviron, M. Martin, A. Ouin, G. Pain and C. Thenail, 2003. Temporal variability of connectivity in agricultural landscapes: Do farming activities help? *Landscape Ecology* 18(3): 303-314.

Bazile D. (ed.), Bertero H.D. (ed.), Nieto C. (ed.). 2013. *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*. Libro de resúmenes. Santiago de Chile: FAO/CIRAD, 67 p.

Bazile D. 2013. *Développement territorial : le quinoa, un catalyseur d'innovations*. Montpellier: CIRAD, France, 4 p. (Perspective : Cirad, n°20).

Bazile D. 2014. Contesting Blossoming Treasures of Biodiversity article 42: 'Quinoa - is the United Nation¿s featured crop of 2013 bad for biodiversity?' - Quinoa, a model crop to examine the dynamics of biodiversity within agricultural systems. *Biodiversity*, 15 (1) : 3-4. http://dx.doi.org/10.1080/14888386.2014.884469

Bazile D., Carrié C., Vidal A., Negrete Sepulveda J. 2011. Modélisation des dynamiques spatiales liées à la culture du quinoa dans le Nord chilien. *Mappemonde* (102) (article 11204) : 14 p.

Bazile D., Coulibaly H., Martinez E.A. 2011. Droits des agriculteurs sur leurs semences: le long chemin entre la conservation in et ex situ. *Grain de sel* (52-53) : 15-17.

Bazile D., Fuentes F., Mujica A. 2013. Historical perspectives and domestication. *In* : Atul Bhargava, Shilpi Srivastava. *Quinoa: Botany, production and uses* . Wallingford : CABI, p. 16-35.

Bazile D., Thomet M. 2013. The "curadoras" in the conservation of the Mapuche Quinoa in southern Chile. *In*: A. Christinck, M. Padmanabhan (eds). *Cultivate Diversity! A handbook on transdisciplinary approaches to agrobiodiversity research* . Germany : Margraf Publishers, p. 104.

Bazile, D. et Soumare, M., 2003. La valorisation de l'agrobiodiversité pour assurer une production agricole durable. Le cas du sorgho dans la zone cotonnière de Koutiala au Mali. *In*: ICRISAT and IPALAC (Ed.), *International Symposium for Sustainable Dry land Agriculture Systems*, ICRISAT Sahelian Center, December 2-5, 2003. ICRISAT, Niamey (Niger), pp. 261-269.

Bazile, D. et Soumare, M., 2004. Pratiques paysannes de gestion de la diversité variétale en réponse à la diversité écosystémique. Le cas du sorgho [Sorghum bicolor (L) Moench] au Mali. Étude Originale. *Cahiers Agricultures*, 13 : 480-487.

Bazile, D., Dembele, S. et Le Page, C., 2005. Co-construction de règles collectives de gestion pour le maintien in situ de la biodiversité des céréales en Afrique de l'ouest [Poster]. *In*: IFB/UNESCO (Ed.), *Biodiversité, science et gouvernance*, Paris, 24-28 janvier 2005. Décider aujourd'hui pour vivre demain. Ministère délégué à la Recherche, Paris, France.

Bazile, D., *et al*., 2003. Stratégies paysannes de valorisation de la biodiversité du sorgho. Cas du Mali. *In*: P. Dugué and P. Jouve (Ed.), *Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux*. Actes du colloque international, 25-27 février 2003, Montpellier, France. CIRAD-CNEARC-ENGREF / UMR-SAGERT, Montpellier (France), pp. 635-650.

Bazile, D., *et al*., 2005. Perspectives of modelling the farmer' seed system for in situ conservation of sorghum varieties in Mali. *In*: J.B. Cunha and R. Morais (Editeurs), EFITA/WCCA 2005 Joint Conference: 5th Conference of the *European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and Environment* and 3rd World Congress on *Computers in Agriculture and Natural Resources*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, 25-28 July 2005, pp. 39-46.

Bazile, D., Soumare, M. et Dembele, J., 2004. Conserver l'agrobiodiversité pour la stabilité de la production agricole. *In*: FAO, GTZ, IDRC, CTA and STP/CIGQE (Ed.), *La biodiversité agricole en Afrique de l'Ouest. Situation actuelle, expériences et perspectives*. FAO, Atelier

régional sur la biodiversité agricole tenu à Bamako (Mali) du 15-19 décembre 2003., pp. 83-95.

Bazile, D., Sthapit, B.R. et Dembele, S., 2005. How do communities provide seed system's resilience to maintain on-farm agrobiodiversity through social networks? Mali and Nepal case studies (Contributed oral session 18, Agriculture and biodiversity II). *In*: DIVERSITAS (Ed.), *Integrating biodiversity science for human well-being*. First Diversitas OSC. 9-12 November, 2005. Oaxaca, Mexique. Diversitas-France (CD-Rom).

Becu N. 2006. *Identification et modélisation des représentations des acteurs locaux pour la gestion des bassins versants*. Thèse de Doctorat, Montpellier 2, 344 pages.

Benaouda Zineddine, Mehdadi Zoheir et Bouchaour Ibrahim, 2005. Influence pédoclimatique sur l'évolution des formations forestières en zone semi-aride (cas de la forêt de Tenira, Ouest algérien). *Sécheresse*, N°16, Vol. 2 : 115-120.

Benoît M., Deffontaines J-P. et Lardon S., 2006. *Acteurs et territoires locaux : vers une géoagronomie de l'aménagement*. INRA éditions, Paris, 174p.

Bensin, B.M., 1935. Agroecological exploration in the Soto La Marina Region, Mexico. *Geographical Review* 25 (2), 285–297.

Bensin, B.M., 1938. Agroecology as a Basic Science of Agriculture.

Bensin, B.M., 1951. Agroecological world geography. *Biologia*.

Berkes, F. and Folke, C. (Editors), 1998. *Linking Ecological and Social Systems : Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge University Press, Cambridge (UK), 459 pp.

Bertrand, C. et G., 1975. *Pour une histoire écologique de la France rurale*, *In* : Duby, G.,Wallon, A., Histoire de la France rurale, Paris, Le Seuil, vol. 1, 35-116

Bertrand, G. et C., 2002. *Une Géographie traversière : l'environnement à travers territoires et temporalités*, Paris, Ed. Arguments.

Boerma, D. (Ed.), 2004. *Globally-important Ingenious Agricultural Heritage Systems*, GIAHS Project. Report of the Second International Workshop and Steering Committee Meeting. Rome, 7–9 June 2004. FAO, Rome (I), 30 p.

Bonneuil, C., Denis, G. *et al*., 2008. *Sciences, Chercheurs et Agriculture. Pour une histoire de la recherche agronomique*. Paris, Quae & L'Harmattan.

Bousquet, F. *et al*., 2002. Multi-agent systems and role games: collective learning processes for ecosystem management. *In* M.A. JANSSEN (Ed.), *Complexity and ecosystem management*, Edward Elgar Publishing, pp. 248-285.

Bousquet, F. et Le Page, C., 2004. Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. *Ecological Modelling*, 176: 313-332.

Boyazoglu Jean, 2004. L'ingénieur agronome du xxi ème siècle : quel profil et pour quoi faire? *Cahiers Agriculture*, 13 (5): 429-49.

Brand Ulrich and Görg Christoph, 2003. The state and the regulation of biodiversity: International biopolitics and the case of Mexico. *Geoforum,* 34 (2): 221-233.

Brannstrom, C., Clarke, J., & Newport, M., 2004. Civil society participation in the decentralisation of Brazil's water resources: assessing participation in three states. *Singapore Journal of Tropical Geography*, *25*(3), 304-321.

Brookfield, H. (Ed.), 2001. *Exploring agrodiversity*. Issues, Cases, and Methods in Biodiversity Conservation Series. Columbia University Press, New York (USA), 348 p.

Brookfield, H., Padoch C, Parsons H, Stocking M. (Ed.), 2002. *Cultivating biodiversity*. ITDG Publishing and United Nations University, London (UK), 292p.

Brown, K., 2002. Innovations for conservation and development. *The Geographical Journal*, *168*(1), 6-17.

Brundtland, G. H., (Coord.), 1989. *Notre Avenir à Tous*. Rapport de la commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement, Les Editions du Fleuve, 1989 (traduction française de "Our Common Future" paru en 1987).

Bruneau Michel, 2005. From a centred to a decentred tropicality: francophone colonial and postcolonial geography in monsoon Asia. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 26: p. 304.

Bruneau, M., 2005. From a centred to a decentred tropicality: Francophone colonial and postcolonial geography in monsoon Asia. *Singapore Journal of Tropical Geography*, *26*(3), 304-322.

Brunet, R., Ferras, R. and Théry, H., 1993. *Les mots de la géographie, dictionnaire critique* (3ème édition revue et augmentée). Collection Dynamiques du territoire. GIP-Reclus et La documentation Française, Montpellier et Paris (F), 520 pp.

Burel, F. ; Baudry, J. ; Mander, U., 2003. Editorial. Biodiversity of European landscapes: threats and management. *Journal of Nature Conservation* 1 (3): 133-134.

Burel, F. and J. Baudry, 1999. *Ecologie du paysage : concepts, méthodes et applications*. Paris, Lavoisier, 352 p.

Burel, F. and J. Baudry, 2003. *Landscape ecology : concepts, methods, and applications*. Enfield, N.H., Science Publishers, 378 p.

Burel, F. and J. Baudry, 2005. "Habitat quality and connectivity in agricultural landscapes : the role of land use systems at various scales in space and time". *Ecological Indicators*, 5 (4) : 305-313.

Caillon Sophie, 2005. Pour une conservation dynamique de l'agrobiodiversité : Gestion locale de la diversité variétale d'un arbre « des Blancs » (cocotier, *Cocos nucifera* L.) et d'une plante « des ancêtres » (taro, *Colocasia esculenta* (L.) Schott) au Vanuatu. Université d'Orléans (09/12/2005), Jean-Paul Lescure (Dir.).

Caron P., Craufurd P., Martin A., Mc Donald A., Abedini W., Afiff S., Bakurin N., Bass S., Hilbeck A., Jansen T., Lhaloui S., Lock K., Newman J., Primavesi O., Sengooba T., Ahmed M., Ainsworth E.A., Ali M., Antona M., Avato P., Barker D., Bazile D., Bosc P.M., Bricas N., Burnod P., Cohen J.I., Coudel E., Dulcire M., Dugué P., Faysse N., Farolfi S., Faure G., Goli T., Grzywacz D., Hocdé H., Imbernon J., Ishii-Eiteman M., Leakey A., Leakey C., Lowe A., Marr A., Maxted N., Mears A., Molden D.J., Müller J.P., Padgham J., Perret S., Place F., Raoult-Wack A.L., Reid R., Riches C., Scherr S.J., Sibelet N., Simm G., Temple L., Tonneau J.P., Trébuil G., Twomlow S., Voituriez T. 2009. Impacts of AKST on development and sustainability goals. In : McIntyre Beverly D. (ed.), Herren Hans R. (ed.), Wakhungu Judi (ed.), Watson Robert T. (ed.). *Agriculture at a crossroads. International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (IAASTD): global report*. Washington : Island Press, pp. 145-253.

Cayré Patrice, 2005. Biodiversité, conservation et développement. *Cahiers Agricultures* 14 (2): 197-198.

Charbonneau Simon, 2005. « Réflexion d'un juriste sur l'enfermement disciplinaire », *Natures Sciences Sociétés* 1/2005 (Vol. 13), p. 58-61.

Charvet J-P, Croix N, Diry J-P, 2004. Agriculture durable et développement durable de territoires ruraux en France », *Historiens et Géographes*, 387 : 217-229.

Chehma A., Djebar MR., Hadjaiji F. et Rouabeh L., 2005. Étude floristique spatio-temporelle des parcours sahariens du Sud-Est algérien. *Sécheresse*, 16 (4): 275-285.

Chillasse Lahcen et Dakki Mohamed, 2004. Potentialités et statuts de conservation des zones humides du Moyen-Atlas (Maroc), avec référence aux influences de la sécheresse. *Sécheresse*, 15 (4): 337-345.

Chuan, G. K., 2003. Hydrological studies and water resource concerns in Southeast Asia. *Singapore Journal of Tropical Geography*, *24*(1), 86-110.

CIP-UPWARD. *Conservation and sustainable use of agricultural biodiversity*. Los Banos (Philippines): CIP, 2003.

Cocozza, C., Pulvento, C., Lavini, A., Riccardi, M., d'Andria, R., & Tognetti, R., 2013. Effects of Increasing Salinity Stress and Decreasing Water Availability on Ecophysiological Traits of

Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Grown in a Mediterranean-Type Agroecosystem. *Journal of agronomy and crop science*, *199*(4), 229-240.

Cochet Hubert, 2011. *L'agriculture comparée*. Ed. QUAE, NSS-Dialogues, 159p.

Commission des Communautés Européennes, Vers un développement soutenable, COM(92) 23 vol II, 30 mars 1992

Conway, G.R., 1987. The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems* 24 : 95–117.

Criado, A., 2002. *La pénétration du maïs dans les systèmes de cultures céréaliers milsorgho de la zone Mali sud : analyse en terme de coût d'opportunité et impact sur la sécurité alimentaire*. DESS Economie agricole internationale, Université Paris Sud XI, Paris, 109 p.

Daget Philippe et Gaston André, 1999. La mémoire des pâturages africain. *Sécheresse*, 10 (3): 171-182.

Darbellay Frédéric, 2011. Vers une théorie de l'interdisciplinarité? Entre unité et diversité. Nouvelles perspectives en sciences sociales. *Revue internationale de systémique complexe et d'études relationnelles*, 7 (1) : 65-87.

Day Michael J. and Chenoweth M Sean, 2004. The karstlands of Trinidad and Tobago, their land use and conservation. *The Geographical Journal* 170 (3): 256-266.

De Schutter Olivier, 2010. Document "Agroécologie et droit à l'alimentation", A/HRC/16/49, du Rapporteur spécial sur le droit à l'alimentation, soumis à la 16ème session du Conseil des droits de l'homme de l'ONU, 23p. (Traduction de "*Agroecology and the Right to Food*", Report presented at the 16th Session of the United Nations Human Rights Council [A/HRC/16/49], mise en ligne le 8 March 2011)

Deffontaines J-P., 1998. *Les sentiers d'un géoagronome*, Editions Arguments, Paris, 360p.

Dembele, J. et Kone, K., 2003. *Analyse de la place du sorgho dans les stratégies d'allocation du foncier dans l'assolement : cas du village de Kaniko (Koutiala, Mali).* Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université du Mali /FLASH, Bamako (Mali), 47 p.

Dufumier Marc, 1996. *Les projets de développement agricole. Manuel d'expertise*. Karthala, Paris, 354p.

Dufumier Marc, 2004. *Agricultures et paysanneries des Tiers mondes*. Karthala, Paris, 598p.

Dumont René et Rosier Bernard, 1966. *Nous allons à la famine*, Paris, Le Seuil, 279 p.

Dury S. et Bocoum I., 2012, Le « paradoxe » de Sikasso (Mali) : pourquoi « produire plus » ne suffit-il pas pour bien nourrir les enfants des familles d'agriculteurs ? *Cahiers Agricultures* 21 (5): 325- 336. DOI : 10.1684/agr.2012.0584

Dwivedi SL, Sahrawat KL, Upadhyaya HD, Ortiz R (2013) Food, nutrition and agrobiodiversity under global climate change. *Adv Agron* 120:1-128. doi:10.1016/B978-0-12-407686-0.00001-4

Dykes A.P., 2000. Climatic patterns in a tropical rainforest in Brunei. *The Geographical Journal* 166 (1): 63-80.

Eloy Ludivine, 2005. Entre ville et forêt : le futur de l'agriculture amérindienne en question. Transformations agraires en périphérie de São Gabriel da Cachoeira, Nord-ouest amazonien, Brésil. Thèse de doctorat en Géographie. Université de la Sorbonne nouvelle - Paris III (10/12/2005), Hervé Théry (Dir.) : 408 p.

Eriksen S. H., Brown K. & Kelly P. M., 2005. The dynamics of vulnerability: locating coping strategies in Kenya and Tanzania. *Geographical Journal* 171 (4): 287-305.

FAO, 1999. *The state of the world of Plant genetic resources for food and agriculture* (PGRFA). FAO, Rome (I), 511 p.

FAO, 2001. *Le traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture*. FAO, Rome (I), 45 p.

FAO, 2011.The state of food insecurity in the world. How does international price volatility affect domestic economies and food security? Rome, FAO: 57p.

Few Roger, 2001. Containment and counter-containment: planner/community relations in conservation planning. *The Geographical Journal* 167 (2): 111-124.

Feyt Henri et Sontot Andrée , 2000. Aspects juridiques de la valorisation des ressources génétiques végétales. *Cahiers Agriculture*, 9 (5): 403-416.

Fuentes F., Bazile D., Bhargava A., Martinez E.A. 2012. Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *Journal of Agricultural Science*, 150 (6) : 702-716.

Gabas Jean-Jacques, 2002. *Nord-Sud : l'impossible coopération?* Presses de Sciences Po, Paris, 117p.

Galleguillos M., Gaete C., Zúñiga G., Martinez E.A., Bazile D. 2013. Agroecological alternatives to fight against dry and salt stress in agriculture: association between quinoa and other plants in arid conditions of Chile. *In*: Proceedings of SWUP-MED Project Final Conference "Sustainable water use for securing food production in the Mediterranean region under changing climate*", 10-15 march, 2013, Agadir, Morocco*: pp. 386-408.

Galway N.W., 1993. The potential of quinoa as a multi-purpose crop for agricultural diversification: a review. *Industrial Crops and Products*, 1: 101-106.

Gautier Denis & Benjaminsen Tor Arve, Coord., 2012. Environnement, Discours et Pouvoir: l'approche de *Political Ecology*. Eds. QUAE, 256p.

Géneau de Lamarlière Isabelle et Staszak Jean-François, 2000. *Principes de géographie économique*. Editions Bréal, coll. Grand Amphi, 448 pages.

Gilbert Etienne, 2003. *Le développement à contre-courant*. Presses de Sciences Po, Paris, 148p.

Gliessman SR, 1990. Agroecology: researching the ecological basis for sustainable agriculture. *Ecological Studies*, 78: 3-10.

Gliessman, S.R., 2007. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*. New York: CRC Press, Taylor & Francis.

Gray L. C & Moseley W. G, 2005. A geographical perspective on poverty–environment interactions. *The Geographical Journal* 171 (1): 9-23.

Gray Leslie C, 2005. What kind of intensification? Agricultural practice, soil fertility and socioeconomic differentiation in rural Burkina Faso. *The Geographical Journal* 171 (1): 70-82.

Griffon M., 2006. *Nourrir la planète. Pour une révolution doublement verte.* Ed. Odile Jacob, Paris, 456 p.

Griffon, M., 2003. *Développement Durable. Ensemble?* Les enquêtes de Marie-Odile Monchicourt. Platypus Press, Paris (F), 129 pp.

Guillou Marion et Gérard Matheron, 2011. *9 milliards d'hommes à nourrir - Un défi pour demain*. Ed. Bourin, 432 p.

Hardin Garrett, 1968: "The Tragedy of the Commons," *Science*, 162:1243-1248.

Haughton Graham & Counsell Dave, 2004. Regions and sustainable development: regional planning matters. *The Geographical Journal* 170 (2): 135-145.

Henley David, 2002. Population, Economy and Environment in Island Southeast Asia: An Historical View with Special Reference to Northern Sulawesi. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 23: 167-206.

Henley David, 2005. Agrarian change and diversity in the light of Brookfield, Boserup and Malthus: Historical illustrations from Sulawesi, Indonesia *Asia Pacific Viewpoint,* 46 (2):153-172.

Hervieu Bertrand, 2002. La multifonctionnalité de l'agriculture : genèse et fondements d'une nouvelle approche conceptuelle de l'activité agricole. *Cahiers Agriculture*, 11 (5): 415-419.

Hill J. L. and P. J. Curran, 2001. Species composition in fragmented forests: conservation implications of changing forest area. *Applied Geography,* 21 (2): 157-174.

Hill R.D., 1998. Stasis and Change in Forty Years of Southeast Asian Agriculture. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 19: 1-25.

Hirsch Philip, 2001. Globalisation, Regionalisation and Local Voices: The Asian Development Bank and Rescaled Politics of Environment in the Mekong Region. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 22: 237-251.

Hollander Gail M., 2004. Agricultural trade liberalization, multifunctionality, and sugar in the south Florida landscape. *Geoforum,* 35 (3): 299-312.

Hulme Mike and Turnpenny John, 2004. Understanding and managing climate change: the UK experience. *The Geographical Journal* 170 (2): 105-115.

Hvenegaard Glen T. & Dearden Philip, 1998. Tourism in Southeast Asia Linking Ecotourism and Biodiversity Conservation: A Case Study of Doi Inthanon National Park, Thailand. *Singapore Journal of Tropical Geography*. 19:193-211.

International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (IAASTD), 2008. *Summary for Decision Makers of the Global Report*, approuvé par 58 gouvernements à Johannesburg, avril 2008.

Jackson L., et al., 2010. Biodiversity and agricultural sustainagility: from assessment to adaptive management. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2: 80-87.

Jackson L.E., Pascual U., Hodgkin T., 2007. Biodiversity in agricultural landscapes: investing without losing interest. Agriculture, Ecosystems and Environment, 121 (3): 196-210.

Jacobs Sarah R., Thomas Kathryn A. and Drost Charles A., 1999. Mapping Land Cover and Animal Species; Distributions for Conservation Planning: An Overview of the Southwest Regional Gap Analysis Program in Arizona. *US Agriculture Department* (AZ).

Jacobsen S.E., 2003. *The worldwide potential of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)*. *Food Rev. Int*. 19(1-2):167-177.

Jepson W., 2005. A disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savannah. *The Geographical Journal* 171 (2): 99-111.

Jim C.Y. & Liu H.T., 2001. Patterns and dynamics of urban forests in relation to land use and development history in Guangzhou City, China. *The Geographical Journal* 167 (4): 358-375.

Jollivet Marc, 2001. Un exemple d'interdisciplinarité au CNRS : le PIREN (1979-1989), *La revue pour l'histoire du CNRS* [En ligne], 4 | 2001, mis en ligne le 20 juin 2007, consulté le 17 février 2014. URL : http://histoire-cnrs.revues.org/3092

Kadi-Hanifi Halima, 2003. Diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie. *Sécheresse*, 14 (3): 169-179.

Kerry Turner R., Georgiou Stavros, Brouwer Roy, Bateman Ian J. and Langford I. J., 2003. Towards an integrated environmental assessment for wetland and catchment management. *The Geographical Journal* 169 (2): 99-116.

Klein Julie T., 2001. *Interdisciplinarity: History, Theory, and Practice*. Bloodaxe Books Publisher, 331 p.

Koohafkan, P., M. A. Altieri, et al., 2011. "Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems." *International Journal of Agricultural Sustainability*: 1-13.

Krishna VV, Drucker AG, Pascual U, Raghu PT, King Edio, 2013. Estimating compensation payments for on-farm conservation of agricultural biodiversity in developing countries. *Ecol Econ* 87: 110–123.

Krugman, Paul, 1991. "Increasing Returns and Economic Geography" *Journal of Political Economy*, 99(3): 483-499.

Krugman, Paul, 1996. *How the Economy Organizes Itself in Space: A Survey of the New Economic Geography*. Working Papers 96-04-021, Santa Fe Institute.

Labeyrie Vanesse, 2013. L'organisation sociale des plantes cultivées. Thèse de doctorat, Université de Montpellier (19/12/20163). Jean-Christophe Glazmann (Dir.) et Christian Leclerc (Co-Dir.).

Lamotte Sandrine, 2004. L'agencement des espaces amazoniens de l'échelle régionale à l'échelle de la maille forestière: une diversité millénaire en voie de disparition? *L'Espace géographique* 3/04 : 267-281.

Lavaud Jean-Pierre et Isabelle Daillant, 2007. *La catégorisation ethnique en Bolivie. Labellisation officielle et sentiment d'appartenance*, Paris, L'Harmattan, 291 p.

Le Houérou Henri-Noël, 1997. Biodiversité végétale et ressources génétiques en Afrique. *Sécheresse*. 8 (2) : 117-120.

Létourneau Alain, 2008 « La transdisciplinarité considérée en général et en sciences de l'environnement », VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 8 Numéro 2 | octobre 2008, mis en ligne le 08 janvier 2010, consulté le 05 décembre 2013. URL : http://vertigo.revues.org/5253 ; DOI : 10.4000/vertigo.5253

Levidow, L. and K. Boschert, 2008. "Coexistence or contradiction? GM crops versus alternative agricultures in Europe." *Geoforum* 39(1): 174-190.

Lévy, J. and Lussault, M., 2003. Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés. Belin, Paris (F), 1032 p.

Louafi S., Bazile D., Noyer J.L. 2013. Conserver et cultiver la diversité génétique agricole : aller au-delà des clivages établis. In : *Cultiver la biodiversité pour transformer l'agriculture*. Versailles : Ed. Quae, p. 185-222.

Louafi S., Bazile D., Noyer J.L. 2013. Conserving and cultivating agricultural genetic diversity: transcending established divides. *In*: Hainzelin Etienne (ed.). *Cultivating biodiversity to transform agriculture*. Heidelberg : Springer [Allemagne], p. 181-230.

Marsden, T., 2011. Towards a real sustainable agrifood security and food policy: beyond the ecological fallacies? *The Political Quarterly*, *83*(1), 139-145.

Martínez, E. A., Veas, E., Jorquera, C., San Martín, R., & Jara, P., 2009. Re-Introduction of Quínoa into Arid Chile: Cultivation of Two Lowland Races under Extremely Low Irrigation. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *195*(1), 1-10.

Mather A. S. and Needle C. L., 2000. The relationships of population and forest trends. *The Geographical Journal* 166 (1): 2-13.

Mayes S, Massawe FJ, Alderson PG, Roberts JA, Azam-Ali SN, Hermann M., 2012. The potential for underutilized crops to improve security of food production. *J Exp Bot* 63: 1075–1079.

McAfee Kathleen, 2003. Neoliberalism on the molecular scale. Economic and genetic reductionism in biotechnology battles. *Geoforum,* 34 (2): 203-219.

McConnell W. J and Sweeney S. P., 2005. Challenges of forest governance in Madagascar. *The Geographical Journal* 171 (3): 223-238.

McKendry Jean E. & Machlis Gary E., 1993. The role of geography in extending biodiversity gap analaysis. *Applied Geography,* 13 (2): pp. 135-152.

Mikusinski G and Angelstam P, 1998. Economic geography, forest distribution, and woodpecker diversity in central Europe. *Conservation Biology*, 12 (1): 200-208.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and human wellbeing: synthesis*. Island Press, Washington

Morin Edgar, 2005. *Introduction à la pensée complexe*. Ed. Seuil, 158 p.

Msanda Fouad, Aboudi Ahmed El et Jean-Paul Peltier, 2005. Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine. *Cahiers Agricultures* 14 (4): 357-364.

Mujica A, Jacobsen S-E, Izquierdo J, Marathee, 2001. *Quinua (Chenopodium quinoa Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*, FAO-RLC Santiago de Chile, UNA-Puno, CIP.

National Research Council (NRC), 1989. *Lost Crops of the Incas: Little Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation*. National Academy Press, Washington, DC, pp. 148–161.

Ouennoughi Melica et Dubost Daniel, 2005. Le voyage forcé des dattiers en Nouvelle-Calédonie. *Sécheresse*, 16 (4): 275-285.

Palmade, Guy, 1977. *Interdisciplinarité et idéologies*, Paris : Édition Anthropos.

Pascal Peggy, Tiers Sophie & Dosso Mireille, 2004. Évolution des marges agricoles de la forêt protégée de Kakamega (Ouest kényan) : une dynamique sous surveillance. *Cahiers Agriculture*, 13 (6) : 473-479.

Patetsos, E., 2003. *Enjeux et perspectives pour les paysans de la zone cotonnière du Mali. Cas de la commune rurale de Sincina*. DESS Développement Agricole, INA Paris-Grignon - IEDES, Paris, 70 p.

Pavé Alain, 2001. Deux programmes de recherche sur l'environnement dans les années 1990-1998 : le programme Environnement, puis le programme Environnement, Vie et Sociétés, *La revue pour l'histoire du CNRS* [En ligne], 4 | 2001, mis en ligne le 20 juin 2007, consulté le 17 février 2014. URL : http://histoire-cnrs.revues.org/3132

Perfecto, I. and J. Vandermeer, 2010. *The agroecological matrix as alternative to the landsparing/agriculture intensification model*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 107(13): 5786-5791.

Phuthego T. C. and Chanda R., 2004. Traditional ecological knowledge and community-based natural resource management: lessons from a Botswana wildlife management area. *Applied Geography*, 24 (1): 57-76.

Pohl Christian and Hirsch Hadorn Gertrude, 2008. Methodological challenges of transdisciplinary research. *Natures Sciences Sociétés* 16 (2) 111-121 . DOI: http://dx.doi.org/10.1051/nss:2008035

Poppy GM, Jepson PC, Pickett JA & Birkett MA. 2014 Achieving food and environmental security: new approaches to close the gap. *Phil. Trans. R. Soc. B* 369: 20120272. http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2012.0272

Poudevigne, I. and J. Baudry, 2003 "The implication of past and present landscape patterns for biodiversity research: introduction and overview." *Landscape Ecology* 3(18): 223-225.

Pretty Jules *et al*., 2006. «Resource-conserving agriculture increases yields in developing countries», *Environmental Science and Technology*, 40(4): pp.1114-1119.

Pretty Jules, 2008. «Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence», *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363(1491): pp. 447-465.

Rhind D., 2000. Current shortcomings of global mapping and the creation of a new geographical framework for the world. *The Geographical Journal* 166 (4): 295-305.

Rougerie G., 1991. *Géosystèmes et paysages: Bilan et méthodes*. A. Colin, Collection Géographie, 302 p.

Rougerie G., 2000. *L'Homme et son milieu. L'évolution du cadre de vie. Une approche de la géographie globale ou comment l'homme interagit avec l'écosystème*. Paris: Nathan, 288 p.

Rougerie G., 2004. *Géographie de la biosphère*. A. Colin, Collection U, 287 p.

Ruiz Karina B. et al., 2014 (online first). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agron. Sustain. Dev*. DOI 10.1007/s13593-013-0195-0

Sachs, Ignacy, 1997, L'écodéveloppement, Ed. La Découverte & Syros (Alternatives économiques), Paris : 122 p.

Schroeder Richard A., St. Martin Kevin and Albert Katharine E. (Editors), 2006. Political Ecology in North America, *Geoforum*, 37 (Special Issue 2): 155-306.

Silva Eduardo, 2004. The political economy of forest policy in Mexico and Chile. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 25:261-280.

Soumare, M., 2004. *Contribution à la prévision de l'aire de diffusion de variétés de sorgho au Mali. Couplage entre Modèle de Croissance des Cultures et Système d'Information* Géographique. DEA Géographie, Université de Nanterre, Paris X, 92 p.

Spire Didier, 2000. Après une analyse... *Cahiers Agricultures* 9 (1): 4-10.

Svan Hansen Tina, 2005. Spatio-temporal aspects of land use and land cover changes in the Niah catchment Sarawak, Malaysia. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 26: 170-190.

Tazi Ouadia, Loutfi Mohammed, Casanovas Felando Pablo et Fahde Abdelilah, 2004. Impact du climat sur le réseau hydrographique Nfefikh (Meseta atlantique du Maroc). *Sécheresse*, 15 (4): 361-365.

Thapa Gopal B., 1998. Issues in the Conservation and Management of Forests in Laos: The Case of Sangthong District. *Singapore Journal of Tropical Geography*, *19*(1): 71-91..

Theobald D. M., Shrupp D. and O'Brien L. E, 2003. A method to assess Risk of Habitat Loss to development: A Colorado Case Study. 2003, *Natural Resource Ecology Lab, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.*

Tomich, T. P., Brodt, S., Ferris, H., Galt, R., Horwath, W. R., Kebreab, E., ... & Yang, L. (2011). Agroecology: a review from a global-change perspective. *Annual Review of Environment and Resources*, *36*, 193-222.

Traore Seydou B., Reyniers François-Noël, Vaksmann Michel, Kone Bather, Sidibe Amadou, Yorote Abdouramane, Yattara Kalifa et Kouressy Mamoutou, 2000. Adaptation à la sécheresse des écotypes locaux de sorghos du Mali. *Sécheresse*, 11 (4): 227-237.

Trommetter Michel, 2000. Gérer la conservation des ressources génétiques végétales : valeur et valorisation des collections. *Cahiers Agriculture*, 9 (5): 381-389.

Tryphon-Dionnet, M., 2005. *Pour une gestion paysanne de l'agrobiodiversité : le cas du sorgho au Mali*. DESS Espace et Milieu, Université Paris 7 - Denis Diderot, Paris, 103 pp.

Tuathail G., Tuathail Gearoid O. et Dalby Simon (Sous la direction de), 2006. The Geopolitics Reader (2nd edition). Routledge Éditor (UK): (mai 2006) 352 pages.

Twyman C., 2000. Participatory Conservation? Community-based Natural Resource Management in Botswana. *The Geographical Journal* 166 (4): 323-335.

Uitto Juha I. & Duda Alfred M., 2002. Management of transboundary water resources: lessons from international cooperation for conflict prevention. *The Geographical Journal* 168 (4): 365-378.

UNEP, 1993. *Convention on Biological Diversity*. Text and Annexes. CBD/94/1. UNEP/CBD, Montreal, 34 p.

Vaksmann, M., Traore, S.B. et Niangado, O., 1996. Le photopériodisme des sorghos africains. *Agriculture et Développement*, 9: 13-18.

Van Dam Denise, Streuth Michel, Nizet Jean et Stassart Pierre M. (Coord.), 2012. *Agroécologie, entre pratiques et sciences sociales*. Educagri Editions, FR-Dijon, 309p.

Vassas Toral A. 2011. *Ruralité et agriculture au prisme des mobilités spatiales. L'Altiplano Sud de la Bolivie à l'heure du boom de la quinoa*. Thèse de Doctorat de Géographie. Université Paul Valéry - Montpellier 3. Montpellier, France. 345 p. + annexes.

Veech J. A., 2003. Incorporating socioeconomic factors into the analysis of biodiversity hotspots. *Applied Geography,* 23 (1): 73-88.

Vega-Galvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L. & Martinez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90, 2541–2547.

Verburg Peter H., Overmars Koen P., Huigen Marco G.A., de Groot Wouter T. and. Veldkam A, 2006. Analysis of the effects of land use change on protected areas in the Philippines. *Applied Geography,* 26 (2): 153-173.

Viera Pak M. 2012. *Le boom de la quinoa dans l'Altiplano Sud de la Bolivie : Transformations agraires, discours et conflits socio-environnementaux*, AgroParisTech. Thèse de doctorat de l'ED ABIES / Direction : J.F. Tourrand.

Warren Andrew, Batterbury Simon & Henny Osbahr, 2001. Sustainability and Sahelian soils: evidence from Niger. *The Geographical Journal* 167 (4): 324-341.

Wezel A. *et al*. 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron. Sustain. Dev*., 29 : 503-515

Wezel *et al.*, 2009. A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecology, *International Journal of Agricultural Sustainability*, 7 (1): 3-18.

Winkel T. et al. 2012. The sustainability of quinoa production in southern Bolivia: from misrepresentations to questionable solutions. Comments on Jacobsen (2011, J. Agron. Crop Sci. 197: 390-399). *Journal of agronomy and crop science* 198 (4): 314-319.

Wood, D., & Lenne, J. M., 1997. The conservation of agrobiodiversity on-farm: questioning the emerging paradigm. *Biodiversity & Conservation*, *6*(1) : 109-129.

Wood P. J. and S. Barker, 2000. Old industrial mill ponds: a neglected ecological resource. *Applied Geography,* 20 (1): 65-81.

Wood, D. et Lenne, J.M. (Editeurs), 1999. *Agrobiodiversity: Characterization, utilization and Management*. CABI Publishing, Wallingford (UK), 490 p.

Wooldridge, M., 1999. Intelligent Agents. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. *In*: G. Weiss (Editor), *Multi-agents systems*. MIT Press, USA, pp. 27-77.

Works Martha A and Hadley Keith S, 2004. The cultural context of forest degradation in adjacent Purépechan communities, Michoacán, Mexico. *The Geographical Journal* 170 (1) : 22-38.

Zimmerer Karl S. et Bassett Thomas J. (Sous la direction de) , 2003. *Political Ecology: An Integrative Approach to Geography and Environment-Development Studies*. Guilford Publications Editor, 310 pages.